



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

REINALDO BOULHOSA RAMOS DA SILVA JUNIOR

**GERENCIAMENTO DE MOBILIDADE TRANSPARENTE
COM SUPORTE INTEGRADO A QoS/QoE EM REDES
HETEROGÊNEAS**

DM - 03/2012

UFPA – ITEC – PPGEE
BELÉM – PARÁ – BRASIL
2012

REINALDO BOULHOSA RAMOS DA SILVA JUNIOR

**GERENCIAMENTO DE MOBILIDADE TRANSPARENTE
COM SUPORTE INTEGRADO A QoS/QoE EM REDES
HETEROGÊNEAS**

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica com Ênfase em Computação Aplicada

ORIENTADOR: PROF. DR. EDUARDO COELHO CERQUEIRA

DM - 03/2012

UFPA – ITEC – PPGEE
BELÉM – PARÁ – BRASIL
2012

REINALDO BOULHOSA RAMOS DA SILVA JUNIOR

**GERENCIAMENTO DE MOBILIDADE TRANSPARENTE
COM SUPORTE INTEGRADO A QoS/QoE EM REDES
HETEROGÊNEAS**

Dissertação submetida à avaliação da banca examinadora aprovada pelo colegiado do programa de pós-graduação em engenharia elétrica da Universidade Federal do Pará e julgada adequada para obtenção do grau de mestre em engenharia elétrica com ênfase em computação aplicada.

Aprovada em: 29 de Fevereiro de 2012

Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira
(ORIENTADOR – UFPA)

Prof. Dr. Antônio Jorge Gomes Abelém
(PPGCC – UFPA)

Prof. Dr. Augusto José Venâncio Neto
(MEMBRO – UFC)

VISTO:

Prof. Dr. Marcus Vinícius Alves Nunes
(COORDENADOR DO PPGEE/UFPA)

Agradeço a Deus e a todos que acreditaram no meu potencial e me deram todo apoio, incentivo e motivação durante mais esta fase da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me concedeu a alegria de nascer e estar vivo para terminar este trabalho, ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Cerqueira que teve muita paciência, seriedade, atenção e dedicação; à minha família que soube dar força nos momentos difíceis e o apoio necessário; à minha noiva que sempre esteve do meu lado, incentivando-me e aos amigos pela ajuda e confiança, em especial, ao Tássio e Jailton que contribuíram de forma direta para a elaboração desta dissertação.

“Ter problemas na vida é inevitável,
ser derrotado por eles é opcional.”
(Roger Crawford)

RESUMO

Os avanços nas tecnologias de comunicação sem fio, a demanda por novas aplicações multimídia em tempo real, com requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) e Qualidade de Experiência (QoE), e a proliferação de equipamentos móveis, originam o surgimento de soluções que permitem mobilidades horizontais e verticais em redes heterogêneas, de modo transparente. Esses dispositivos móveis apresentam múltiplas interfaces sem fio, onde os usuários se conectam para realizar tarefas e serviços variados no seu dia a dia, mediante a tecnologia de redes diferentes, proporcionando um cenário heterogêneo com diversas oportunidades de conectividade para os usuários móveis. Visando solucionar o problema de várias conexões, feitas por usuários móveis, em uma mesma rede Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) e/ou WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) com diferentes serviços executados, porém, utilizando incorretamente a rede, esta dissertação propõe uma técnica hierárquica de decisão de mobilidade transparente, baseada em uma função de custo, no padrão IEEE 802.21 e no mapeamento de classes de serviço para garantir QoS/QoE para usuários em períodos de mobilidade chamada de MIH2Q, onde essa política informa a melhor rede para ser utilizada, de acordo com o serviço utilizado pelo usuário móvel. A avaliação do impacto e os benefícios da proposta são feitas através de simulação no NS-2 (*Network Simulator - version 2*) e no *evalvid*, utilizando métricas de QoS e QoE para verificação dos resultados.

Palavras Chave: Aplicações multimídia, QoS, QoE, IEEE 802.21, redes heterogêneas, mobilidade.

ABSTRACT

Advances in wireless communications technology, and the demands for new real-time multimedia applications that meet the Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) requirements, together with the proliferation of mobile equipment, have given rise to new solutions that allow horizontal and vertical mobility in transparent heterogeneous networks. These mobile devices have multiple wireless interfaces where the users are connected so that they can carry out several tasks and services on a daily basis through the technology of different networks that allow a heterogeneous scenario with a wide range of connectivity opportunities for the mobile users. This dissertation sets out a fast-decision hierarchical technique for transparent mobility based on cost function in the IEEE 802.21 Standard and class-of-service mapping, to ensure QoS/QoE for the users in periods of mobility called M1H2Q, during which this policy gives information about the best network that can be used for the service employed by the mobile user. It seeks to overcome the problem of having several connections being made by mobile users on the same Wireless Fidelity (wi-fi) network and/or WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) with different services being executed, even though the network is not used correctly. The effects and benefits of the scheme were assessed through NS-2 simulation (Network Simulator- Version 2) and Evalvid, and the QoS and QoE metrics were used to check the results.

Keywords: Multimedia applications, QoS, QoE, IEEE 802.21, heterogeneous networks, mobility.

LISTA DE SIGLAS

AAA	Authentication, Authorization e Accounting
AC	Access Categories
AC_BE	Access Categories Best Effort
AC_BK	Access Categories Background
AC_VI	Access Categories Video
AC_VO	Access Categories Voice
AIFS	Arbitrary Inter-Frame Spacing
AP	Access Point
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B3G	Beyond Third Generation
BE	Best Effort
BS	Base Station
BSS	Basic Service Set
CAP	Controlled Access Phase
CBR	Constant Bit Rate
CID	Connection Identifier
CoS	Class of Service
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
CW	Contention Window
CWMAX	Contention Window Maxima
CWMIN	Contention Window Minima
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EDCA	Enhanced Distributed Coordinated Access
ertPS	extended real-time Polling Service
ESS	Extended Service Set
FI	Future Internet
FDD	Frequency Division Duplexing
FTP	File Transfer Protocol
HCCA	HCF Controlled Channel Access

HCF	Hybrid Coordination Function
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IBSS	Independent BSS
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IME	Integration Management Entity
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific, Medical
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
LOS	Line-of-Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MIH SAP	MIH Service Access Point
MIHF	Media Independent Handover Function
MIHS	Media Independent Handover Services
MIHU	MIH users
MIH2Q	MIHQoS/QoE
MN	Mobile Node
MOS	Mean Opinion Score
MS	Mobile Station
NGMN	Next Generation Mobile Network
NGN	Next Generation Networks
NLOS	No Line-Of-Sight
nrtPS	non real-time Polling Service
NS-2	Network Simulator - version 2
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDU	Protocol Data Units
PIFS	Priority Inter Frame Space
PHY	Physical
PMP	Point-to-Multipoint
PoA	Point of Attachment
PoS	Point of Service

PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RSS	Received Signal Strength
rtPS	real-time Polling Service
RTS	Request to Send
SAP	Service Access Point
SDP	Service Delivery Platforms
SS	Subscriber Station
SSIM	Structural Similarity Index
STA	Stations
TDD	Time Division Duplexing
TxOP	Transmission Opportunity
UGS	Unsolicited Grant Service
UL-MAP	Uplink Bandwidth Allocation Map
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UP	User Priorities
VANET	Vehicular ad-hoc network
VBR	Variable Bit Rate
VoIP	Voice over IP
VQM	Video Quality Metric
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
4G	Fourth Generation

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE SIGLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE QUADROS	xvii
1. INTRODUÇÃO	18
1.1 MOTIVAÇÃO	18
1.2 OBJETIVO	20
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	21
2. TECNOLOGIAS UTILIZADAS	22
2.1 TECNOLOGIAS DE REDE SEM FIO	22
2.1.1 PADRÃO IEEE 802.11	23
2.1.1.1 QoS EM REDE WI-FI	25
2.1.2 PADRÃO IEEE 802.16	27
2.1.2.1 QoS EM REDE WIMAX.....	29
2.1.3 MEDIA INDEPENDENT HANDOVER (MIH).....	31
2.1.3.1 SINALIZAÇÃO DO MIH	34
2.2 RESUMO DO CAPÍTULO	35
3. TRABALHOS RELACIONADOS	36
3.1 MOBILIDADE COM SUPORTE A 802.11K	36
3.2 MOBILIDADE VERTICAL	37
3.3 MOBILIDADE COM SUPORTE A QoS.....	38
3.4 RESUMO DO CAPÍTULO	40
4. MIH2Q (MIH QoS/QoE)	41
4.1 POLÍTICA MIH2Q	41
4.2 FUNÇÃO DE CUSTO HIERÁRQUICA	43
4.4 RESUMO DO CAPÍTULO	45
5. VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO	46

5.1 PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO	46
5.2 CENÁRIO 1	48
5.3 CENÁRIO 2	50
5.4 CENÁRIO 3	52
5.5 RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE QOE NOS CENÁRIOS 1 E 3	54
5.5.1 VÍDEO 1: ALTA COMPLEXIDADE E MOVIMENTAÇÃO VÍDEO "COAST"	54
5.5.2 VÍDEO 2: MÉDIA COMPLEXIDADE E MOVIMENTAÇÃO VÍDEO "CAR"	57
5.5.3 VÍDEO 3: BAIXA COMPLEXIDADE E MOVIMENTAÇÃO VÍDEO "BRIDGE"	60
5.6 RESUMO DO CAPÍTULO	63
6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	64
6.1 TRABALHOS FUTUROS	65
6.2 PUBLICAÇÕES	65
7. REFERÊNCIAS	66
ANEXOS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de QoS e QoE em um sistema de Tv (IPTV)[Rodrigues 2011].....	19
Figura 2 - Arquitetura infraestruturada.....	24
Figura 3 - Arquitetura Ad- hoc.....	24
Figura 4 - Modelo de protocolo do padrão IEEE 802.11.....	25
Figura 5 - Topologia Ponto- Multiponto (PMP).....	28
Figura 6 - Topologia Mesh.....	28
Figura 7 - Modelo da camada de protocolos do padrão IEEE 802.16.....	29
Figura 8 - Arquitetura de QoS do padrão IEEE 802.16.....	31
Figura 9 - Sinalização de mobilidade no MIH.....	34
Figura 10 - Fluxograma usado para a decisão de mobilidade com o MIH2Q.....	44
Figura 11 - Arquitetura do MIH2Q em Redes Heterogêneas da Próxima Geração.....	45
Figura 12 – Cenário 1.....	48
Figura 13 - Oscilação provocada pela competição da largura de banda entre os clientes.....	49
Figura 14 – Média da vazão com intervalo de confiança no Cenário 1.....	49
Figura 15 - Cenário 2.....	50
Figura 16 - Resultado de vazão para as CoS no Cenário 2.....	51
Figura 17 - Média da vazão com intervalo de confiança no cenário 2.....	51
Figura 18 - Cenário 3.....	52
Figura 19 - Resultado de Vazão para as CoS no Cenário 3.....	53
Figura 20 - Média da vazão com intervalo de confiança no cenário 3.....	53
Figura 21 - Resultado do PSNR do vídeo “Coast” para QoE com MIH2Q e sem.....	54
Figura 22 - Resultado do SSIM do vídeo “Coast” para QoE com MIH2Q e sem.....	55
Figura 23 - Resultado do VQM do vídeo “Coast” para QoE com MIH2Q e sem.....	55
Figura 24 - Vídeo “Coast” sem a política MIH2Q.....	56
Figura 25 - Vídeo “Coast” com a política MIH2Q.....	56
Figura 26 - Resultado do PSNR do vídeo “Car” para QoE com MIH2Q e sem.....	57

Figura 27 - Resultado do SSIM do vídeo "Car" para QoE com MIH2Q e sem.	57
Figura 28 - Resultado do VQM do vídeo "Car" para QoE com MIH2Q e sem.	58
Figura 29 - Vídeo "Car" sem a política MIH2Q.	59
Figura 30 - Vídeo "Car" com a política MIH2Q.	59
Figura 31 - Resultado do PSNR do vídeo "Bridge" para QoE com MIH2Q e sem.	60
Figura 32 - Resultado do SSIM do vídeo "Bridge" para QoE com MIH2Q e sem.	60
Figura 33 - Resultado do VQM do vídeo "Bridge" para QoE com MIH2Q e sem.	61
Figura 34 - Vídeo "Bridge" sem a política MIH2Q.	62
Figura 35 - Vídeo "Bridge" com a política MIH2Q.	62

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1</i> - Parâmetros de simulação de topologia.....	46
<i>Tabela 2</i> - Mapeamento de PSNR para MOS.	47
<i>Tabela 3</i> - Parâmetros de simulação dos vídeos	48
<i>Tabela 4</i> - Valores das métricas do vídeo "Coast" sem e com a MIH2Q.....	55
<i>Tabela 5</i> - Valores das métricas do vídeo "Car" sem e com a MIH2Q.	58
<i>Tabela 6</i> - Valores das métricas do vídeo "Bridge" sem e com a MIH2Q.....	61

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1 - Mapeamento das principais prioridades de usuário para as categorias de acesso</i>	<i>26</i>
<i>Quadro 2 - Classes de serviços WIMAX e parâmetros de QoS.....</i>	<i>30</i>
<i>Quadro 3 - Relação dos trabalhos relacionados aos requisitos da proposta</i>	<i>40</i>

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve sucintamente, a proposta do trabalho, expondo a motivação e a justificativa e, também, o objetivo e a organização geral desta dissertação.

1.1 MOTIVAÇÃO

As redes de próxima geração estão sendo desenvolvidas no intuito de suportar um ambiente todo IP (ALL-IP), envolvendo atuação conjunta de tecnologias de acesso com e sem fios, como Wi-Fi (*Wireless-Fidelity*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11 e WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, baseado no IEEE 802.16) [Mahajan e Soans 2010]. Nesse contexto, é necessário prover a mobilidade transparente de usuários, de modo vertical e horizontal, com suporte a QoS (*Quality of Service*) e QoE (*Quality of Experience*) em redes heterogêneas.

Um dos principais objetivos da próxima geração de sistemas heterogêneos sem fio, usualmente chamada de B3G (*Beyond Third Generation*) ou redes 4G (*Fourth Generation*), é proporcionar sempre a melhor conectividade aos usuários móveis [Vasconcelos 2010]. A tendência é que os terminais dos usuários possuam, cada vez mais, múltiplas interfaces de tecnologias heterogêneas e que a seleção da rede seja baseada em critérios como custo, cobertura, taxa de transmissão, qualidade de serviço, qualidade de experiência e segurança [Schumacher et. al. 2010].

A qualidade de serviço considera a organização do tráfego da rede, definindo prioridades e limites a serem utilizados para garantir a variação de atraso (*jitter*) e vazão dos serviços disponibilizados. Já o termo qualidade de experiência volta-se diretamente à percepção do usuário e se refere ao grau de satisfação que o mesmo observa ao término do tráfego dos serviços multimídia, podendo ser avaliações subjetivas classificadas como ruins, médias ou boas, por exemplo. A Figura 1 apresenta um exemplo da abrangência de QoS e QoE num sistema computacional.

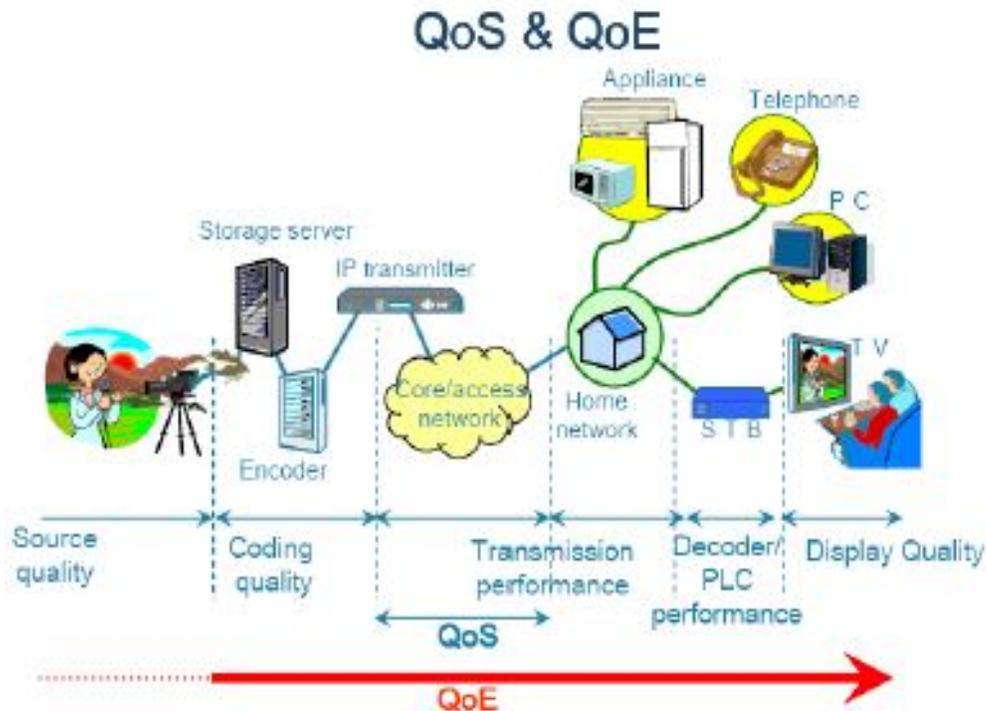


Figura 1 - Exemplo de QoS e QoE em um sistema computacional de IPTV (IPTV) [Rodrigues 2011].

Os sistemas sem fio da próxima geração All-IP focam-se em uma infraestrutura baseada no IP e com suporte a tecnologias de acesso heterogêneo. Atualmente, a arquitetura inteligente para técnicas de gerenciamento de mobilidade é um dos seus desafios, pois proporciona vantagens às tecnologias baseadas no IP, permitindo uma transição global entre várias tecnologias de acesso, inclusive, admitindo mobilidade entre elas [Lazauskait 2009]. Portanto, esses sistemas necessitam da integração e da interoperabilidade de técnicas de gerenciamento de mobilidade em redes heterogêneas.

As redes móveis da próxima geração (NGMN – *Next Generation Mobile Network*) pré-definem o conceito de que a próxima geração de dispositivos de comunicação sem fio proporcionará chamadas de voz, transmissões de vídeo, visitas a endereços web e serviços de dados, para o mesmo cliente e com múltiplas interfaces sem fio, através de uma única rede transparente ao usuário, que englobe inúmeras tecnologias interligadas. Logo, plataformas de entrega de serviço (SDP – *Service Delivery Platforms*) flexíveis e com grande desempenho computacional serão responsáveis por fornecer suporte eficiente à criação, desenvolvimento e gerenciamento transparente aos serviços nas redes da próxima geração (NGN – *Next Generation Network*) ou na Internet do Futuro (FI – *Future Internet*) [Mahajan e Soans 2010].

No que diz respeito à mobilidade e interoperabilidade, o padrão IEEE 802.21 [IEEE P802.21 2009], o MIH (*Media Independent Mobilidade*) foi definido e possui protocolos de sinalização e algoritmos que viabilizam o suporte à mobilidade entre redes sem fio com tecnologias de comunicação homogêneas e heterogêneas. Os algoritmos disponibilizam informações das camadas inferiores, que ajudam na decisão de mobilidade e viabilizam o re-roteamento do cliente (MS - *Mobile Station / SS - Subscriber Station*) para o novo ponto de acesso (AP - *Access Point*) ou para a uma nova estação base (BS - *Base Station*). Dessa forma, a mobilidade feita independe de endereço de rede e tecnologia de comunicação sem fio. Entretanto, a tomada de decisão de mobilidade no MIH é realizada somente com base na intensidade do sinal (RSS - *Received Signal Strength*) de um AP/BS e esse parâmetro, no entanto, não é suficiente para assegurar garantia de QoS/QoE das aplicações utilizadas.

Além do suporte à mobilidade, essas redes devem assegurar os requisitos de QoS e QoE das aplicações multimídia em tempo real, de maneira transparente [Cerqueira et. al. 2008]. Apesar de permitirem a diferenciação de tráfego, utilizando Classes de Serviços (CoS - *Class of Services*) e escalonadores, as principais tecnologias de acesso sem fio Wi-Fi (IEEE 802.11e) e WiMAX (IEEE 802.16e) não suportam o mapeamento dinâmico de aplicações em CoSs, visando assegurar QoS/QoE durante mobilidades.

1.2 OBJETIVO

Esta dissertação tem como objetivo propor uma solução de gerenciamento de mobilidade, MIH hierárquico e transparente em redes heterogêneas com suporte a QoS e QoE, denominado MIHQoS/QoE (MIH2Q), propondo assim definir a melhor rede, quando um determinado serviço multimídia for utilizado, considerando o tráfego e a necessidade do cliente móvel.

A proposta viabiliza uma ferramenta que coordena o processo de mobilidade transparente entre redes heterogêneas, através da ordem de prioridade nos serviços utilizados por usuários móveis, garantindo que o serviço usado pelo cliente seja de qualidade sem perda das informações. O impacto e o benefício desta proposta são avaliados através do NS-2 (*Network Simulator - version 2*) e da ferramenta *Evalvid*, onde se nota a melhoria do sistema de mobilidade através da análise de parâmetros de QoS e QoE de vídeos reais, como vazão, PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), SSIM

(*Structural Similarity Index*), VQM (*Video Quality Metric*) e MOS (*Mean Opinion Score*).

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Além deste capítulo introdutório, esta dissertação organiza-se da seguinte maneira:

- O Capítulo 2 contém o embasamento teórico, abordando os conceitos sobre WiMAX e Wi-Fi com QoS nas redes, além do *framework* MIH.
- O Capítulo 3 expõe alguns trabalhos relacionados com o tema aqui proposto, descrevendo, resumidamente, seus pontos fortes e analisando seus pontos fracos.
- O Capítulo 4 disserta sobre a proposta MIH2Q deste trabalho, apresentando a função de custo responsável pelo processo de mobilidade.
- O Capítulo 5 descreve os resultados deste trabalho, avaliando e validando a proposta desenvolvida em seus respectivos cenários.
- O Capítulo 6 apresenta as considerações finais desta dissertação e as recomendações futuras.

2. TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Este capítulo apresenta alguns conceitos relacionados aos principais padrões para tecnologia de acesso sem fio. Porém, serão enfatizados os padrões IEEE 802.11 (Wi-Fi) e IEEE 802.16 (WiMAX), que foram os utilizados neste trabalho, apresentando suas respectivas arquiteturas, classes de serviços e categorias de acessos.

2.1 TECNOLOGIAS DE REDE SEM FIO

A sociedade vive em meio a um aglomerado de dispositivos portáteis, alguns, inclusive, apresentam múltiplas interfaces sem fio, permitindo que usuários móveis, domésticos ou corporativos, solucionem problemas diários em um menor espaço de tempo, independente de suas localizações. A demanda por dispositivos, como *smartphones*, *tablets*, *laptops* e *notebooks*, apresenta índice de crescimento nas vendas, considerado acima do esperado [UOL 2011]. Logo, serviços de qualidade prestados por operadoras são exigidos e, conseqüentemente, também aumentam.

Dentre as tecnologias existentes na área de acesso sem fio, estão a Wi-Fi, a WiMAX, além das UMTS¹ (*Universal Mobile Telecommunication System*) e LTE² (*Long Term Evolution*), as quais proporcionam um cenário heterogêneo com diversas oportunidades de conectividade para os usuários de dispositivos com múltiplas interfaces.

Para este trabalho, foram utilizadas duas tecnologias de acesso sem fio: a Wi-Fi, que utiliza o padrão IEEE 802.11e, para garantia de QoS e, permitindo a cobertura sem fio para uma rede local, e a WiMAX, que utiliza o padrão o IEEE 802.16e, suportando a QoS no âmbito de redes metropolitanas. Ambas as tecnologias são amplamente difundidas, provendo suporte à qualidade de serviço e acesso à internet móvel.

¹ Tecnologia proposta para ser uma solução integrada para aspectos de transmissão de voz e dados na telefonia 3G.

² Padrão de redes de comunicação 4G móvel que é a evolução da tecnologia de acesso 2G/3G, especificada pelo 3GPP (*3G Partnership Project*).

2.1.1 PADRÃO IEEE 802.11

Em 1997, o subcomitê IEEE 802.11 criou o padrão denominado Wi-Fi Alliance [Wi-Fi Alliance 2011] que define o funcionamento da camada física e de acesso ao meio para redes locais sem fio. Dois anos depois, vários líderes de companhias de aparelhos eletrônicos uniram-se com o objetivo de conduzir um único padrão para redes locais sem fio de alta velocidade. No mesmo ano de sua criação, a Wi-Fi Alliance adotou especificações do padrão IEEE 802.11, como base na tecnologia Wi-Fi para redes WLANs.

A razão do sucesso do Wi-Fi Alliance está na convergência da interoperabilidade entre diversas abordagens disponibilizadas por tal padrão, pois o IEEE 802.11 permitiu que diferentes empresas provesses serviços de redes locais *wireless* baseados em um sistema aberto, aumentando o número de fabricantes e reduzindo os custos da solução para a implantação da rede [Kioskea 2011].

Dentre as versões mais conhecidas do padrão, estão [Bulhman e Cabianca 2011]:

- A 802.11b, mais conhecida como Wi-Fi, que utiliza a técnica de transmissão DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e opera na faixa de 2.4 GHz (*giga hertz*), com alcance de 100 m (metros) e taxa de transmissão de 11 Mbits/s.
- A 802.11a, que utiliza uma técnica de transmissão com maior taxa de dados, sendo, inclusive, mais sofisticada, chamada de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), provendo transmissão de 54 Mbits/s, tendo frequência de 5.8 GHz (*giga hertz*).
- A 802.11g, que oferece uma taxa de transmissão de 54 Mbits/s em 2.4 GHz (*giga hertz*) de frequência. Esse padrão foi proposto visando o benefício das altas taxas de transmissão do padrão IEEE 802.11a, sendo compatível com o 802.11b.

O IEEE 802.11 apresenta uma topologia que objetiva a interação com as camadas superiores, de maneira transparente dos componentes móveis da LAN (*Local Area Network*). Logo, as funções do padrão são caracterizadas pela implementação na placa de rádio frequência de rede do equipamento móvel, interface de *software*, que orienta a comunicação, e no ponto de acesso da rede.

Esse padrão possui, em sua estrutura essencial da arquitetura, um conjunto básico de serviço BSS (*Basic Service Set*). Um BSS constitui-se de uma ou mais estações sem fio e uma estação base central chamada de AP (*Access Point*). Quando um sistema distribuído conecta várias BSSs via AP, forma-se uma única rede ESS (*Network Extended Service Set*), estendendo a área de cobertura sem fio. Na Figura 2, é representada uma arquitetura infraestruturada, onde as estações sem fio são conectadas a uma rede de infraestrutura ethernet, através do AP.

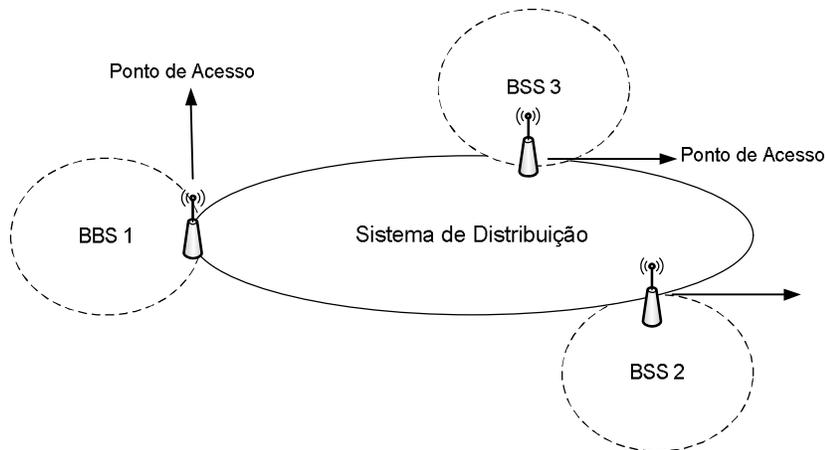


Figura 2 - Arquitetura infraestruturada.

Outra forma de conectar duas ou mais estações no IEEE 802.11 é através da arquitetura de rede temporária *Ad-hoc* (Figura 3). Essa arquitetura define um conjunto IBSS (*Independent Basic Service Set*), onde as estações sem fios se conectam umas às outras, podendo ser configuradas rapidamente sem nenhuma estrutura.

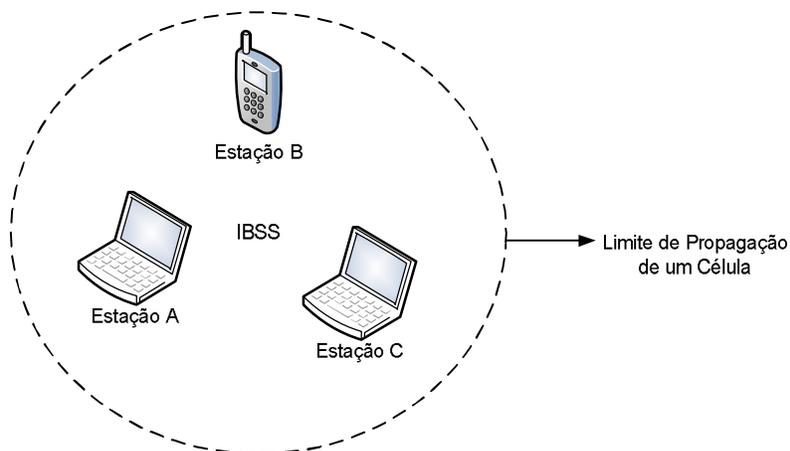


Figura 3 - Arquitetura *Ad-hoc*.

O modelo de protocolos do IEEE 802.11 apresenta três camadas (Figura 4): LLC (*Logical Link Control*), MAC (*Medium Access Unit*) e PHY (*Physical*), e possui serviços que orientam o tipo de configuração que a camada MAC deverá suportar. Os serviços são classificados de acordo com os dispositivos móveis (autenticação, privacidade e entrega dos pacotes) e sistema de distribuição (serviços de associação, desassociação, distribuição, integração e reassociação).

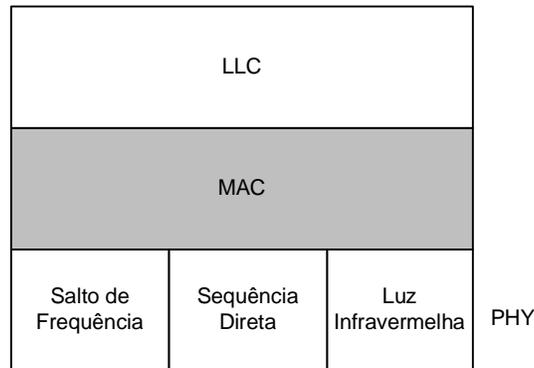


Figura 4 - Modelo de protocolo do padrão IEEE 802.11

A camada LLC provê o endereçamento e o reconhecimento de quadros como suporte para o LLC. A camada MAC provê funções de controle de acesso para os meios físicos compartilhados na camada física, como o endereçamento, a coordenação de acesso, a geração da sequência de controle de quadro e a delimitação do PDU (*Protocol Data Unit*) da camada LLC. E a camada PHY concentra seus esforços no espectro de frequência chamado ISM (*Industrial, Scientific and Medicine*), com frequência na ordem de 2,4 GHz, padronizada para sequência direta (*direct sequence*) e salto de frequência (*frequency hopping*).

2.1.1.1 QoS EM REDE WI-FI

O padrão IEEE 802.11e, aprovado em 2005, define suporte à qualidade de serviço para aplicações multimídia sensíveis a retardo, como voz sobre *wireless IP* e *streaming* de vídeo. Esse padrão melhora a camada MAC do padrão 802.11e, que provê a função de coordenação híbrida HCF (*Hybrid Coordination Function*), na qual o termo híbrido refere-se a duas versões de protocolo MAC com controle centralizado,

implementado e distribuído pelo HCCA (HCF *Controlled Channel Access*), implementado pelo EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) [Hiertz et. al. 2010].

O EDCA e HCCA definem classes de tráfego que podem nomear classes de serviços. O primeiro apresenta, basicamente, quatro AC (*Access Categories*) na camada MAC, definidos como AC_VO (para tráfego de voz), AC_VI (para tráfego de vídeo), AC_BE (para tráfego de melhor esforço), por exemplo, o HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), e AC_BK (para tráfego de fundo), por exemplo, o FTP (*File Transfer Protocol*), permitindo o tratamento do tráfego em uma rede, utilizando oito UPs (*User Priorities*) classificados da maior para a menor categoria (Quadro 2), sendo que o tráfego de alta prioridade tem maior chance de ser enviado do que o tráfego identificado como baixa prioridade.

Quadro 1 - Mapeamento das principais prioridades de usuário para as categorias de acesso

Prioridade	UP	AC	Tipo	Exemplo
Baixa  Alta	1	AC_BK	Tráfego de Fundo	FTP
	2	AC_BK	Tráfego de Fundo	
	0	AC_BE	Melhor Esforço	HTTP e e-mails
	3	AC_BE	Melhor Esforço	
	4	AC_VI	Vídeo	Streaming de Vídeo
	5	AC_VI	Vídeo	
	6	AC_VO	Voz	VoIP
	7	AC_VO	Voz	

Cada categoria de acesso possui uma única fila de transmissão com parâmetros particulares da janela de contenção CW (*Contention Window*), sendo limiares superiores (CWMAX) ou inferiores (CWMIN), AIFS (*Arbitrary Inter-Frame Spacing*) e TxOP (*Transmission Opportunity*). Cada nível de prioridade possui um intervalo de tempo em que uma estação pode enviar tantos quadros quanto possível, não excedendo a transmissão de duração máxima do TxOP. Caso o quadro seja muito grande, o mesmo deve ser fragmentado. Os tráfegos com ACs de alta prioridade possuem valores menores CWMAX, CWMIN e AIFS, comparado aos tráfegos de baixa prioridade.

Em relação ao HCCA, esse utiliza o esquema de *polling* para interrogar as estações. É gerenciado pelo HC (Coordenador Híbrido), que também é responsável pela

realização do controle de admissão de tráfego e por atribuir oportunidades de transmissão às estações. Após o procedimento anterior, ocorre o CAP (*Controlled Access Phase*), que é o intervalo de tempo em que o HC mantém o controle do meio para acessar o meio livre por um período PIFS (*Priority Inter Frame Space*). Em síntese, o EDCA oferece prioridade de QoS e o HCCA oferece, apenas, parâmetros de QoS.

2.1.2 PADRÃO IEEE 802.16

O padrão IEEE 802.16 para redes WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*), também conhecido no mercado como WiMAX [WiMAX Fórum 2011], é uma solução desenvolvida para o acesso de banda larga sem fio para áreas metropolitanas, com taxas de transmissão de 70 Mbps, cobrindo áreas bem superiores que as redes WLANs, de até 50 quilômetros. Esse padrão também opera em faixas de frequências licenciadas, diferentemente das WLANs, que apenas operam em faixas não licenciadas.

Possui uma arquitetura básica composta de dois elementos principais: a BS (*Base Station*), que fornece o acesso à rede sem fio e à rede de infraestrutura, suportando interfaces IP, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), Ethernet, e a SS, que fornece acesso à rede de infraestrutura por meio do estabelecimento de conexões com a BS.

Com relação à sua topologia, o WiMAX define duas possibilidades: O PMP (*Point-to-Point*), que possui uma estrutura centralizada e infraestruturada, na qual a BS é o centro da topologia, somente com comunicação entre BS e o Nó móvel (NM) (Figura 5), sendo que o NM não pode se comunicar diretamente com outro NM. A outra possibilidade é o Modo Mesh (Figura 6), onde cada NM se comunica diretamente com outro NM, sem a intervenção da BS. Neste, a comunicação entre dois NMs ocorre via múltiplos saltos.

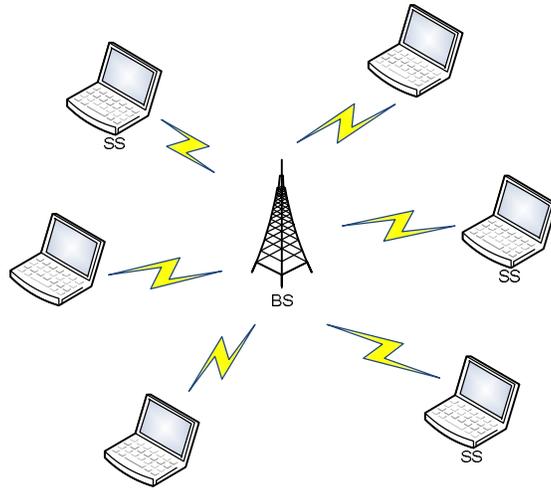


Figura 5 - Topologia Ponto- Multiponto (PMP)

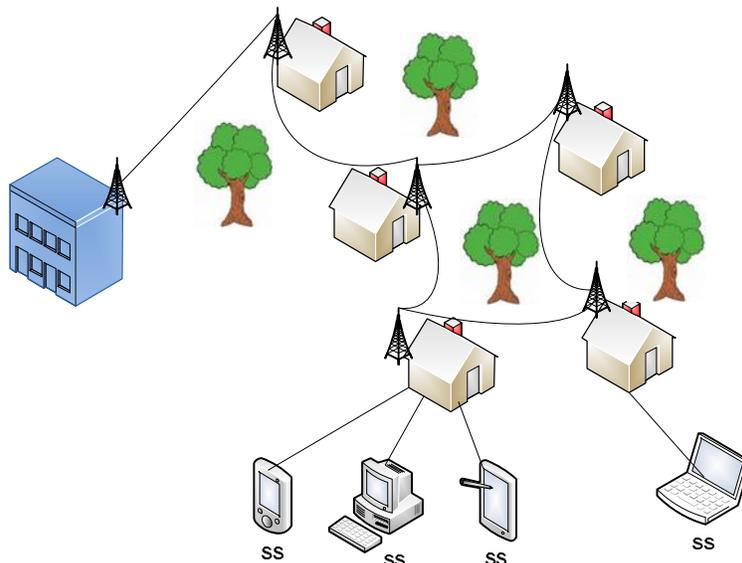


Figura 6 - Topologia Mesh

Devido à evolução, hoje, o WiMAX contempla a mobilidade dos usuários através do IEEE 802.16e, e o WiMAX Móvel suporta mobilidade transparente, permitindo que a MS (*Mobile Station*) troque de estação base, com velocidades veiculares de até 120 km/h (quilômetros por hora), a fim de garantir que aplicações de tempo real não sofram degradação de serviços [Andreadis et. al. 2011].

O padrão IEEE 802.16 especifica as camadas MAC e PHY para redes WMAN. A camada MAC é dividida em três subcamadas (Figura 7): *Service Specific Convergence Sublayer*, que possui funções específicas para a adaptação do cliente; *Common Part Sublayer*, que provê o sistema de acesso, alocação de banda e

manutenção da conexão; e *Security Sublayer*, que é responsável pela segurança, através de mensagens criptografadas entre o NM e a BS.

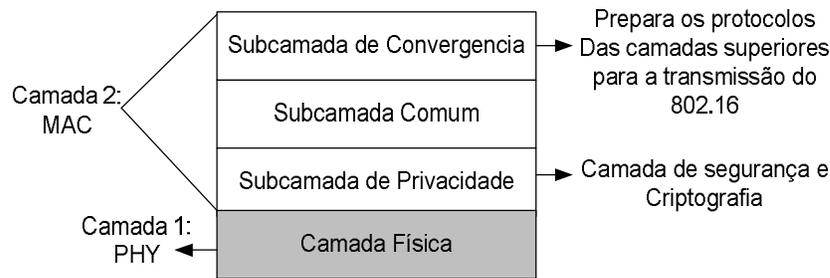


Figura 7 - Modelo da camada de protocolos do padrão IEEE 802.16

Existem duas formas de acesso ao meio no IEEE 802.16: a FDD (*Frequency Division Duplexing*) e a TDD (*Time Division Duplexing*). Na primeira, o emissor e o receptor operam em canais de frequência diferentes ao mesmo tempo. Já na segunda, as estações operam nas mesmas frequências e transmitem utilizando um *subframe* de *uplink* e um de *downlink*, para se comunicarem com a BS, em tempos distintos.

A camada Física apresenta o modo de operação OFDM (*Orthogonal-Frequency Division Multiplexing*), que permite acessos múltiplos a diferentes NMs, operando na banda de 2 a 11 GHz (*giga hertz*). Tal modo divide um sinal em várias frequências ortogonais de banda estreita, chamadas de portadoras ou sub portadoras OFDM. E, também, o modo o OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), que combina o acesso múltiplo por divisão de frequência com acesso múltiplo por divisão de tempo.

Como características, o IEEE 802.16 apresenta a modulação adaptativa, o envio de mais de um símbolo por *bit*, permitindo altas vazões e uma melhor eficiência do espectro, pois a modulação adaptativa escolhe qual o melhor sistema de modulação, de acordo com as condições do canal, corrigindo problemas de interferência e atenuação.

2.1.2.1 QoS EM REDE WIMAX

O IEEE 802.16 provê um mecanismo de suporte a QoS, definindo classes de prioridade para alguns tipos de aplicação atuante nas camadas superiores. Tal mecanismo é realizado através de fluxos de serviço na camada MAC, que fornecem transporte unidirecional aos pacotes e, quando ativos, associam-se a uma conexão.

Destaca-se que esses fluxos devem definir o conjunto de parâmetros de QoS, como o atraso máximo, largura de banda mínima e o tipo de serviço. No Quadro 3, são evidenciadas as cinco classes de serviço associadas ao fluxo de tráfego e os parâmetros de QoS.

Quadro 2 - Classes de serviços WiMAX e parâmetros de QoS

Classes de QoS	Aplicações	Especificações QoS	Tipos de Dados
UGS (<i>Unsolicited grant service</i>)	VoIP	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão máxima sustentada/garantida • Latência máxima tolerada • <i>Jitter</i> tolerado 	Pacotes de tamanho fixo a uma taxa constante CBR – (<i>Constant Bit Rate</i>)
rtPS (<i>real-time polling service</i>)	Fluxo de Áudio ou Vídeo (<i>Streaming</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão mínima reservada • Vazão máxima sustentada/garantida • Latência máxima tolerada • Prioridade de tráfego 	Pacotes de tamanho variável gerados de forma periódica VBR – (<i>Variable Bit Rate</i>)
ErtPS (<i>Extended real-time polling service</i>)	Detecção de Atividade de Voz (VoIP)	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão máxima reservada • Vazão máxima sustentada/garantida • Latência máxima tolerada • <i>Jitter</i> tolerado • Prioridade de tráfego 	VBR com taxa mínima garantida e restrições na latência e <i>jitter</i>
nrtPS (<i>Non real-time polling service</i>)	Protocolo de Transferência de Arquivos (FTP)	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão mínima reservada • Vazão máxima sustentada/garantida • Prioridade de tráfego 	VBR tolerantes a atrasos com taxa mínima garantida
BE (<i>Best effort</i>)	Transferência de Dados, Web Browsing, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão máxima sustentada/garantida • Prioridade de tráfego 	Fluxos que não necessitam de garantias no nível de serviço

O WiMAX utiliza um modelo orientado à conexão de transferência de dados para garantir a QoS em conexões unidirecionais. Essa conexão deve ser identificada através de um CID (*connection identifier*), isto é, correspondente a uma parte do cabeçalho MAC de cada pacote. Para uma sessão IP, entre um usuário e a rede, dois CIDs são utilizados, um na direção *uplink* e o outro para *downlink*, fazendo com que a rede controle suas propriedades, independentemente.

A camada MAC, do 802.16, define mecanismos de sinalização de QoS e funções para controlar a transmissão de dados entre a BS e as SSS. Nesse contexto, definem-se

quatro tipos de serviços associados aos fluxos de tráfegos, cada um com diferentes requisitos de QoS. A Figura 8 exibe uma arquitetura de QoS baseada no padrão IEEE 802.16.

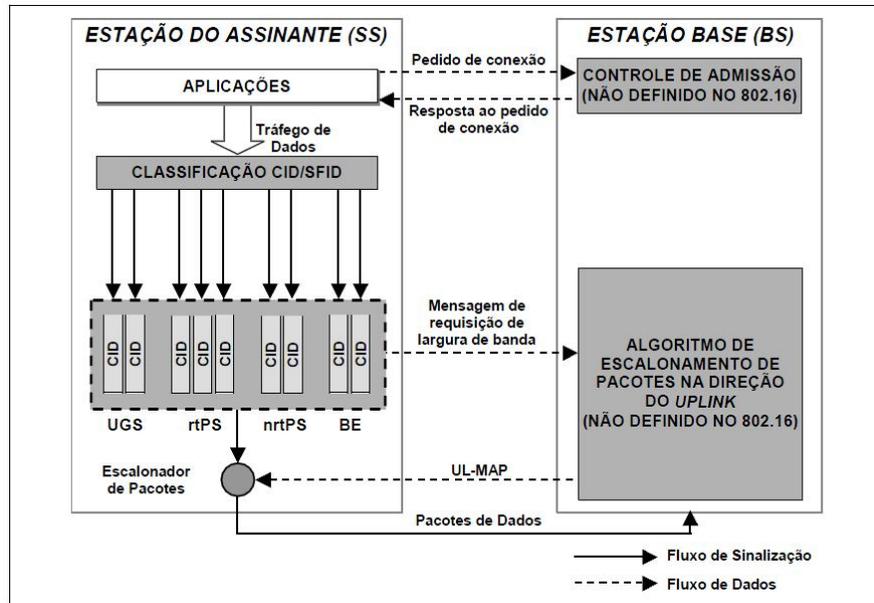


Figura 8 - Arquitetura de QoS do padrão IEEE 802.16

De acordo com o padrão, as requisições de QoS incluem função de configuração e registro para a pré-configuração da estação assinante, com a estação base nos fluxos de serviços e parâmetros de tráfego; função de sinalização para o estabelecimento de conexão; utilização de escalonamento MAC e parâmetros para os fluxos de serviço do *uplink* e *downlink*; agrupamento das propriedades de fluxos de serviços em classes de serviços, de modo que as entidades das camadas superiores e das aplicações externas requisitem os fluxos de serviço, de acordo com os parâmetros de QoS desejados.

2.1.3 MEDIA INDEPENDENT HANDOVER (MIH)

O MIH é uma entidade *cross-layer* que abrange, principalmente, a unificação da obtenção de informações sobre a rede, dos eventos e dos mecanismos de controle das camadas inferiores para as diferentes tecnologias de Enlace, abstraindo, assim, a tecnologia usada para as camadas superiores, ou seja, não importando qual tecnologia é acessada no momento [IEEE Std 802.21 2008].

Seus objetivos são:

- 1) Facilitar a tomada de decisão do mecanismo de controle de mobilidade, através do acesso às informações sobre o estado dos enlaces, buscando a execução de mobilidades com o mínimo de retardo, mesmo entre redes de acesso de tecnologias diversas;
- 2) Definir métodos e semânticas que facilitem a aquisição de informações em ambientes heterogêneos;
- 3) Permitir a continuidade da conectividade ao longo desses ambientes, tanto homogêneos quanto heterogêneos, através do controle de mobilidade transparente.

A arquitetura do MIH é dividida da seguinte forma:

- *Media Independent Handover Function (MIHF)*: Uma nova camada adicionada ao modelo de referência visando ao suporte à mobilidade. Essa camada deve prover ao usuário os eventos, informações e controles citados anteriormente.
- *MIH User*: Entidade de controle que dá o efetivo suporte à mobilidade, dotada de poder de decisão sobre onde, quando e como as mobilidades serão efetuadas.
- *MIH Network Entity*: Entidade remota habilitada a se comunicar com a MIHF usando a camada de transporte, e que suporta os serviços que independem da tecnologia (*Media Independent Services*).

O MIHF possui alguns componentes, sendo os seguintes serviços:

- *Event Service*: Detecta eventos disparando gatilhos, tanto para tomadas de decisão locais, quanto remotas.
- *Command Service*: Oferece um conjunto de comandos aos usuários (MIH User) para controlar os eventos relevantes à execução de uma mobilidade.
- *Information Service*: Oferece um modelo para informação e uma forma de consulta padronizada ao seu repositório, auxiliando na tomada de decisão das mobilidades.

Dentro da terminologia adotada para o procedimento de mobilidade do padrão 802.21 e das tecnologias sem fio em geral, encontra-se a seguinte classificação:

- Mobilidade Transparente (*Seamless*): é aquela onde, protocolos, aplicações e usuários finais, não detectam mudanças na capacidade do serviço, segurança ou qualidade;
- Gatilho L2 ou da camada de enlace (*L2 Trigger*): são informações da camada de enlace sobre eventos detalhados, que podem ser usados para disparar ou auxiliar no processo de mobilidade, nas camadas superiores (rede e acima);
- Mobilidade Rápida (*Fast Mobilidade*): é aquela que objetiva minimizar a latência de mobilidade, sem interesse explícito da perda de pacotes;
- Mobilidade na camada 2 (L2): é aquela onde o terminal muda seu ponto de acesso (ou algum outro aspecto do canal de rádio). Esse tipo de mobilidade é transparente às camadas superiores (rede e acima);
- Mobilidade na camada 3 (L3): envolve sinalização na camada de rede e IP Móvel.

2.1.3.1 SINALIZAÇÃO DO MIH

A Figura 9 apresenta a sinalização de mobilidade entre os padrões IEEE 802.16 e IEEE 802.11, utilizando o *framework* MIH.

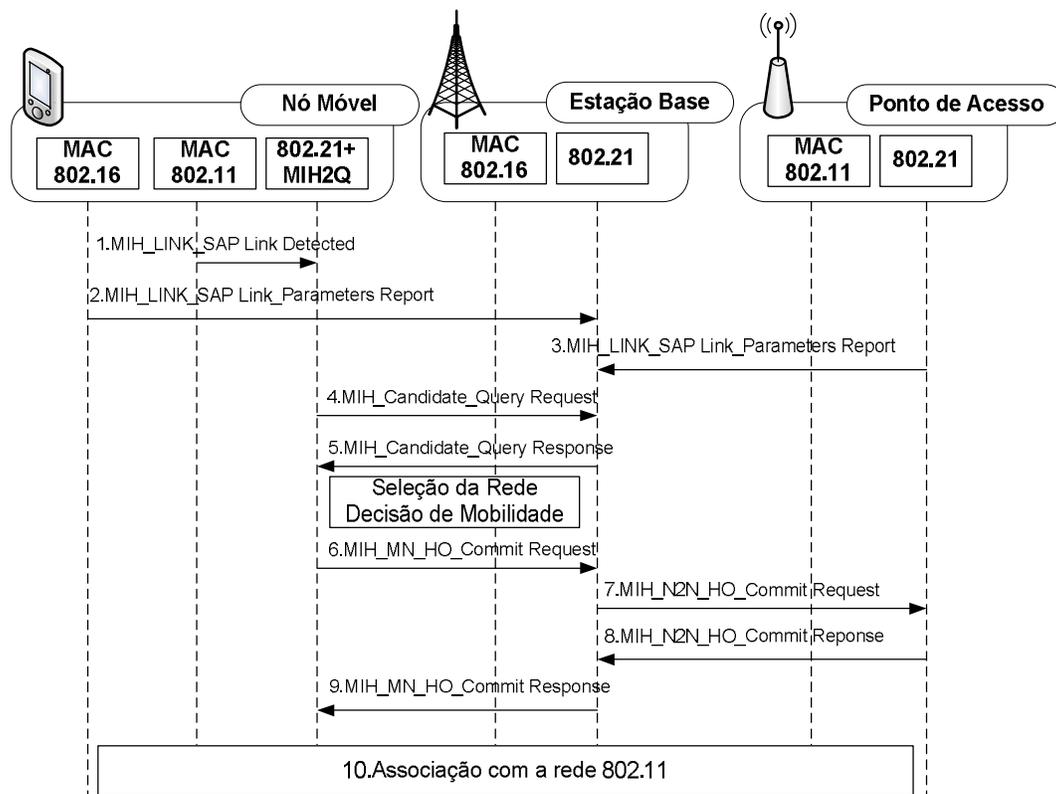


Figura 9 - Sinalização de mobilidade no MIH.

De acordo com a Figura 9, a sinalização de mobilidade no MIH ocorre na seguinte priorização:

- 1. O MN detecta uma rede vizinha Wi-Fi por meio da mensagem MIH_LINK_SAP Link_Detected.
- 2. A interface WiMAX envia para o MIH sua vazão atual (MIH_LINK_SAP Link_Parameters_Report). O MIH repassa o valor da vazão pela rede WiMAX para a BS atual.
- 3. O MIH da rede alvo (Wi-Fi) também envia a vazão atual para a BS (MIH_LINK_SAP Link_Parameters_Report).
- 4. O MN envia para a BS uma requisição de consulta de redes candidatas disponíveis (MIH_Candidate_Query Request).

- 5. A resposta da consulta é enviada para o MN (MIH_Candidate_Query Response), juntamente com o resultado da soma da vazão de todos os nodos, tanto dos que estão na rede WiMAX, quanto dos que estão na rede Wi-Fi. O MN tem informação suficiente sobre a rede alvo, para, então, tomar a decisão de realizar a mobilidade, ou não. Como o AP é o único disponível, o mesmo é selecionado e a decisão final fica por conta do resultado da função de custo, onde o valor definido do limiar é de 0,7, assim, pelo cálculo da função que apresentar valor menor que o limiar, ocorre a mobilidade da rede WiMAX para Wi-Fi, portanto o MN irá iniciar o processo de associação com a rede Wi-Fi.
- 6. O MN envia uma mensagem de notificação para a BS com informações sobre o AP alvo (MIH_MN_HO_Commit Request).
- 7. A BS, então, informa ao AP alvo (MIH_N2N_HO_Commit Request) que o MN irá se mover para sua área de cobertura.
- 8. O AP alvo responde para a BS, autorizando o início de mobilidade (MIH_N2N_HO_Commit Response).
- 9. A BS repassa a autorização para o MN (MIH_MN_HO_Commit Response).
- 10. Por fim, ocorre a associação com a rede 802.11 com seu AP alvo, finalizando, assim, o processo de mobilidade. Em seguida, ocorre a passagem dos dados já bufferizados, iniciando a comunicação com a rede Wi-Fi.

2.2 RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo abordou conceitos, padrões, arquitetura, protocolos e respectivos *frameworks* de QoS, das tecnologias de acesso sem fio Wi-Fi e WiMAX, necessários para a implementação da política de gerenciamento de mobilidade em redes heterogêneas, com suporte a QoE/QoS, desenvolvida neste trabalho.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Como forma de realçar a contribuição e a relevância desta dissertação, este capítulo analisa o estado da arte com foco em gestão de mobilidade, redes heterogêneas e suporte a aplicações multimídia com QoS e QoE, destacando alguns trabalhos relacionados ao tema, os quais foram agrupados em três categorias: mobilidade com suporte ao IEEE 802.11k, mobilidade vertical e mobilidade com suporte a QoS.

3.1 MOBILIDADE COM SUPORTE A 802.11K

Em [Panaousis et. al. 2008] é mostrado um processo de otimização do relatório da carga do canal, utilizando apenas redes homogêneas Wi-Fi, definidas pelo padrão 802.11 e estendidas pela emenda “k”. No trabalho, é apresentado um mecanismo eficiente para monitorar valores de cargas de canais, baseado em intervalos de confiança. Também são solicitadas informações de carga de canal do ponto de acesso por uma estação, sendo que o objetivo é a escolha do melhor canal, que operará para atingir altas taxas de transferência na rede, minimizando o impacto das requisições dos clientes, reduzindo o cálculo da sobrecarga, através de um intervalo de confiança e conseguindo valores em torno de 95% até 99%.

Já em [Meschke et. al. 2010] são abordados conceitos de mobilidade para redes próximas à estrada, usando os mecanismos dos padrões 802.11 estendidos pelas emendas “k”, “v” e “r”, evidenciando as combinações referentes aos conceitos de mobilidade em redes de comunicação veiculares, em tempo real e de acordo com os serviços oferecidos, desproporcionando mecanismos de mobilidade vertical e não fornecendo mecanismos de suporte às classes de serviço com métricas de QoS e QoE.

No primeiro mecanismo, é utilizada a tecnologia IEEE 802.11k para comunicação sem fio em estradas, e as propriedades em ordem de localização das estações móveis são mostradas, diminuindo a latência de mobilidade dos dispositivos em alta velocidade na estrada. No segundo mecanismo, visa-se aumentar a precisão da escolha do ponto de acesso, por meio de relatórios contendo a informação da configuração de localização do mesmo, reduzindo a latência de mobilidade em relação ao primeiro ponto escolhido. Já no terceiro mecanismo, ocorre uma sobrecarga na rede

devido à combinação dos padrões 802.11k e 802.11v para o gerenciamento de transição BSS (*Basic Service Set*), visando ao maior controle do mesmo.

Em síntese, ambos os trabalhos desconsideraram as métricas de QoS/QoE, e empregaram somente a métrica RSS (*Received Signal Strength*) para verificar a necessidade de mobilidade, visando facilitar o gerenciamento de serviços de mobilidade em redes homogêneas Wi-Fi.

3.2 MOBILIDADE VERTICAL

Em [He 2010] é exposto e analisado um algoritmo de decisão para mobilidade baseado em lógica fuzzy em WWAN (*Wireless Wide Area Network*) e WLAN (*Wireless Local Area Network*) tendendo o acesso ubíquo ao usuário, considerando como parâmetros de entrada a intensidade de sinal, a largura de banda disponível, o custo e a preferência do usuário. Os respectivos parâmetros são analisados em cada máquina de inferência por um conjunto de regras bem definidas, para gerar os resultados e promover a seleção da rede apropriada aos dispositivos móveis, tendendo à redução da probabilidade de bloqueio de chamadas e mobilidade desnecessárias. É importante destacar que, apesar do processo de mobilidade ser executado em redes heterogêneas, o trabalho não utiliza métricas de QoS/QoE, e a definição da decisão de mobilidade vertical só é possível através da entrada de largura de banda do sistema fuzzy.

Uma política de decisão de mobilidade entre as redes WLAN, WIMAX e UMTS foi realizada em [Kunarak e Suleesathira 2010], para evitar a mobilidade desnecessária. No mesmo, foi empregado o sistema fuzzy em conjunto com uma neural backpropagation, visando proporcionar ao usuário a melhor opção de rede, tendendo diminuir o tempo de mobilidade, analisando a largura de banda, custo e probabilidade de bloqueio de chamadas. É importante frisar que o trabalho não utilizou a velocidade dos nós móveis e nem a hierarquia das classes de serviços das redes heterogêneas como métricas.

Diferentemente dos trabalhos que levam em consideração apenas a RSS como métrica, no processo de decisão para mobilidade horizontal ou vertical, [He 2010] e [Kunarak e Suleesathira 2010] empregam outras métricas para o disparo da decisão de mobilidade vertical, como a taxa de dados, largura de banda disponível, cobertura,

distância, velocidade e a preferência do usuário. A lógica fuzzy e a rede neural também são empregadas para analisar e decidir qual rede possui melhor desempenho, fornecendo uma mobilidade otimizada, evitando que o processo seja feito desnecessariamente. Entretanto, novamente, não são utilizadas as métricas QoS/QoE, consideradas importantes para prover um processo de mobilidade confiável.

Em [Xie e Wu 2008] é apresentado um algoritmo de decisão de mobilidade vertical para minimizar o custo de redes heterogêneas de celulares e redes sem fio (WLANs). Analisou-se, nesse trabalho, o cálculo da probabilidade da queda e do bloqueio de novas chamadas através de uma função de custo com mobilidade entre rede celular e WLAN, resultando na descoberta do raio de simulação e diminuindo, assim, o custo da rede. Entretanto, não é levada em consideração a velocidade e intensidade de sinal dos nós.

O trabalho de [Lee et. al. 2009] realiza a pesquisa de um procedimento de mobilidade transparente vertical, verificando entre as diferentes redes WiMAX, Wi-Fi, UMTS e VANETs (*ad hoc* veiculares), visando à escolha da melhor rede pelos usuários, de acordo com os serviços a serem utilizados em tempo real. Neste trabalho, é apresentado um algoritmo de decisão de mobilidade, que, em conjunto com o MIHF (*Media Independent Handover Function*) permite a decisão da melhor rede, pelos usuários, de acordo com a velocidade e o RSS.

Considerando os trabalhos citados anteriormente, destaca-se que nenhum dos já referidos avaliam a qualidade do fluxo multimídia nem a importância do serviço do cliente no processo de decisão para a melhor rede, além de desconsiderarem a aplicação de métricas de QoS/QoE, na importância do serviço no processo de mobilidade.

3.3 MOBILIDADE COM SUPORTE A QoS

Em [Putra et. al. 2009] é mostrada uma avaliação auto similar de classes de serviços em redes homogêneas WiMAX, explicando a existência de tráfegos para cada classe de serviço. Inicialmente, são coletados os dados do tráfego dedicado, baseando-se em sistema de gerenciamento da rede, no qual se controla a implantação da rede e se gravam os registros de tráfego de entrada e saída para a identificação dos objetos. São considerados vários critérios como QoS, classe de serviço, intensidade do tráfego e o

tipo de aplicação, para gerar o tráfego da rede, assim, através dos dados registrados, é analisada a variância e gera-se o gráfico, mostrando vários graus de auto similaridade para diferentes classes de serviços de QoS e intensidade de tráfego.

Em [Chellappan et. al. 2009] é exibido o suporte a várias classes de QoS em mobilidade somente em redes WiMAX móvel. O trabalho apresenta um esquema de mobilidade sensível ao contexto que suporta o padrão IEEE 802.16 em conjunto com QoS. A avaliação mostra o desempenho comparando o esquema que suporta cinco classes de QoS, reduzindo a mobilidade nas camadas 2 e 3 fim a fim, e analisando a variação de atraso na mobilidade e dos serviços que interrompem o tempo do processo.

Em [Andi et. al. 2010] uma avaliação sobre diferentes redes (Wi-Fi e Wimax) utilizando o MIH é realizada, propondo um ambiente com o gerenciamento de múltiplas interfaces com suporte a QoS para terminais móveis sem fio. Tal trabalho utiliza métricas retiradas da camada de enlace, para verificar as condições da rede e decidir se o usuário deve, ou não, realizar mobilidade para outra rede.

Considerando os trabalhos mencionados e realizando uma análise em relação aos mesmos, [Putra et. al. 2009] e [Chellappan et. al. 2009] fazem um mapeamento da QoS para garantir a qualidade de serviço sobre a largura de banda das redes sem fio, no ambiente de rede homogêneo. Já [Andi et. al. 2010] comprova a eficácia da utilização da QoS na decisão da mobilidade vertical, haja vista que utiliza um ambiente heterogêneo. Porém, nenhum dos trabalhos realizam testes com fluxo multimídia de tempo real, nem consideram a qualidade final do vídeo, que poderia ser avaliado pelos usuários, através da QoE.

Quadro 3 - Relação dos trabalhos relacionados aos requisitos da proposta

Categorias	Artigos	Requisitos							
		Supor te a QoS	Supor te a QoE	Mobilidade Transparente	Rede Heterogê nea	MiH	CoSs	Veloci dade	RSS
Mobilidade com suporte a 802.11k	Panaousis et. al. 2008	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
	Meschke et. al. 2010	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Mobilidade Vertical	He 2010	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim
	Kunarak e Suleesathi ra 2010	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
	Xie e Wu 2008	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
	Lee et al. 2009	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Mobilidade com suporte a QoS	Putra et. al. 2009	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
	Chellappa n et. al. 2009	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
	Andi et. al. 2010	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Proposta	Boulhosa et. al 2011	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

3.4 RESUMO DO CAPÍTULO

Após a análise do estado da arte, verificou-se a existência de trabalhos que envolvem o gerenciamento de mobilidade em redes homogêneas e heterogêneas. Também se observaram trabalhos que utilizaram a QoS como métrica importante para a decisão da mobilidade. Além de outros trabalhos que realizaram testes com aplicações multimídia voltadas para as redes heterogêneas de próxima geração.

No entanto, tais trabalhos não possuem todos os requisitos abordados nesta dissertação, que são a análise dos parâmetros através da velocidade, intensidade de sinal, classes de serviços UGS (*Unsolicited Grant Service*), rtPS (*Real-Time Pooling Service*) e BE (*Best Effort*) e métricas como PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) [Winkler 2005], SSIM (*Structural Similarity Index*) [Wang et. al 2004], VQM (*Video Quality Metric*) [Xiao 2000] e MOS (*Mean Opinion Score*) [Prego 2007], juntamente com a escolha da melhor rede entre WiMAX e Wi-Fi, assegurando a mobilidade transparente em redes heterogêneas para aplicações multimídia em tempo real, com suporte a QoS e QoE.

4. MIH2Q (MIH QoS/QoE)

Este capítulo apresenta a proposta da função de custo hierárquica, destacando sua fórmula, fluxograma e ambiente. Serão apresentados, também, os principais conceitos, arquitetura e serviços do *framework* MIH, que serviu de base para o desenvolvimento desta dissertação.

4.1 POLÍTICA MIH2Q

Para permitir a mobilidade transparente de clientes multimídia em redes heterogêneas, esta seção descreve a solução hierárquica e gerenciamento de mobilidade entre redes WiMAX ou WMANs, e as redes Wi-Fi ou WLANs com suporte a QoS e QoE, baseada no padrão IEEE 802.21/MIH, utilizado para integrar as sessões IP e gerir a sinalização entre diferentes tecnologias sem fio, viabilizando mobilidades verticais.

Para a solução MIH2Q, otimizações no padrão MIH foram realizadas para que a mobilidade fosse feita, não apenas com base na intensidade do sinal/RSS do AP/BS, mas também na velocidade e, principalmente, nos requisitos de QoS/QoE das aplicações e disponibilidade das classes de serviços nos APs/BSs candidatos.

As redes WiMAX definem, desde sua concepção, cinco tipos de CoS (*Class of Service*) para cinco diferentes tipos de aplicações: a UGS para serviços de voz, a rtPS para fluxos de vídeo, a nrtPS para a transferência de pacotes de dados através do FTP, BE para fluxo de dados sem exigência de qualidade de serviço através do HTTP e o ertPS para serviços de voz com supressão de ruído e VoIP.

As redes Wi-Fi, no entanto, definem quatro tipos de CoS ou ACs para diferentes tipos de aplicações. As ACs são semelhantes às CoS, apresentadas pelo WiMAX, sendo: AC_VO para serviços de voz, AC_VI para serviços de vídeo, AC_BK para tráfego de fundo, como FTP, e AC_BE para o melhor esforço sem exigência de QoS.

Como forma de prover mobilidade transparente com suporte a QoS/QoE, o MIH2Q define uma função de custo baseado em uma hierarquia de decisão da melhor rede, que verifica as atribuições baseadas em: métricas de velocidade, RSS e parâmetros de QoS e QoE das aplicações suportados pelas CoS.

Para a validação da política, foram realizados testes através do *software* NS-2 [Network Simulator 2011] adicionado ao *patch* do [Belghith e Nuaymi 2009] que disponibiliza as classes de serviço (UGS, rtPS e BE) para as redes WiMAX. Nesse *patch*, o autor trabalhou com a utilização de fluxos FTP na classe BE. Posteriormente a isso, adicionou-se ao *patch* a função de custo, em conjunto com a arquitetura do MIH2Q.

Baseando-se em referências da área da computação e das telecomunicações, este trabalho equilibrou uma hierarquia de gerenciamento de mobilidade através do padrão IEEE 802.21, isto é, o padrão MIH, que provê toda a comunicação entre as duas redes. Para isso, é necessário a utilização de um algoritmo que provê a mobilidade transparente, ou seja, entre as redes Wi-Fi e WiMAX, sem a necessidade da perda de pacote.

No entanto, faz-se necessária a transição do cliente, que deve seguir regras, de acordo com a necessidade do mesmo, com seu fluxo ou serviço de rede. Dessa forma, este trabalho utiliza uma função de custo, servindo como métrica de entrada e de acordo com a classe de serviço do cliente (*best effort, ungranted service e real time pooling service*), com a velocidade (elevada ou baixa) e com a RSS, o algoritmo que, em conjunto com a função de custo, determina se o cliente, com a determinada classe de serviço, deve, ou não, executar o procedimento de mobilidade.

Dessa forma, um algoritmo é proposto utilizando pesos, que auxiliam na decisão da melhor rede, visando iniciar o processo de troca da BS para o AP, a fim de melhorar a vazão da classe de serviço do *best effort*, que possui necessidade momentânea de maior velocidade.

É importante frisar que, embora as redes WiMAX possuam alcance mais extenso e melhores taxas de velocidade em relação às redes Wi-Fi, a escolha e utilização da rede depende do serviço a ser utilizado pelo usuário. Por exemplo, três clientes com serviços diferentes (BE, rtPS e UGS) competem pela largura de banda de uma determinada rede. Porém, existe uma desvantagem do primeiro serviço em relação ao segundo e ao terceiro, pois o rtPS e o UGS necessitam de uma vazão constante, com reserva de largura de banda maior para as suas necessidades, prejudicando o serviço BE, que apresenta menor vazão, prejudicando seu desempenho na rede.

4.2 FUNÇÃO DE CUSTO HIERÁRQUICA

O processo de decisão de mobilidade é executado através de uma política aplicada no 802.21/MIH por meio de uma função de custo baseada em uma hierarquia para a escolha da melhor rede, na qual apresenta a seguinte fórmula para a função γ :

$$\gamma = \frac{\{0,25 + [0,25 \times CoS] + [0,25 \times RSS] + [0,25 \times (Velocidade \div 3,6)]\}}{3} \quad (1)$$

Onde:

- CoS → Peso atribuído à classe de serviço do cliente móvel
- RSS → Peso correspondente à intensidade do sinal recebido
- Velocidade → Velocidade do cliente móvel em km/h

Caso o cliente móvel não possua nenhuma prioridade na disputa de tráfego, o parâmetro CoS receberá valor igual a 0. Caso possua prioridade UGS/AC_VO, a variável receberá atribuição igual a 1. E se o nó pertencer ao serviço RTPS/AC_VI, o valor atribuído será igual a 2. Essa atribuição dos valores referentes as classes de serviços são marcadas através das tecnologias Wi-Fi e WiMAX.

Para a variável RSS, existem três atribuições. Na primeira, a intensidade do sinal é baixa (entre -127dB e -120dB) e o peso atribuído será igual a 0. Na segunda, a intensidade é média (entre -103 e -85dB) e o peso será igual a 1. E, por fim, na terceira a intensidade do sinal é elevada (acima de -85dB) e o peso será igual a 2. Cabe destacar que a decisão da rede será de acordo com o resultado final do cálculo realizado pela função de custo γ , considerando os parâmetros de CoSs, RSS e a velocidade.

Os parâmetros de CoS e RSS também irão variar na faixa de 0 a 2. Já a velocidade, dada em *km/h*, será utilizada de acordo com o valor obtido pelo GPS (*Global Position System*) presente nos equipamentos de comunicação da atualidade [Gu et. al. 2009] e [Jingxuan et. al. 2009]. Além disso, informações importantes serão captadas para prever possíveis perdas de sinais, e assim, evitá-las.

Se o resultado final de γ for inferior a 0,7, então, o cliente móvel deverá realizar o processo de mobilidade para uma nova rede, com tecnologia diferente; Caso contrário, se for igual ou superior, então, o cliente móvel não terá a necessidade de mudar de rede. Destaca-se que o valor do limiar de γ foi obtido através de experimentos em redes sem fio, justificando as equivalências às métricas utilizadas em redes de múltiplas tecnologias. A função de custo tem como objetivo inibir que os clientes móveis de alta

velocidade, associados ao serviço rtPS, mudem de rede. Para isso, os parâmetros dessa condição recebem os valores mais altos, isto é, com maiores pesos (Figura 10).

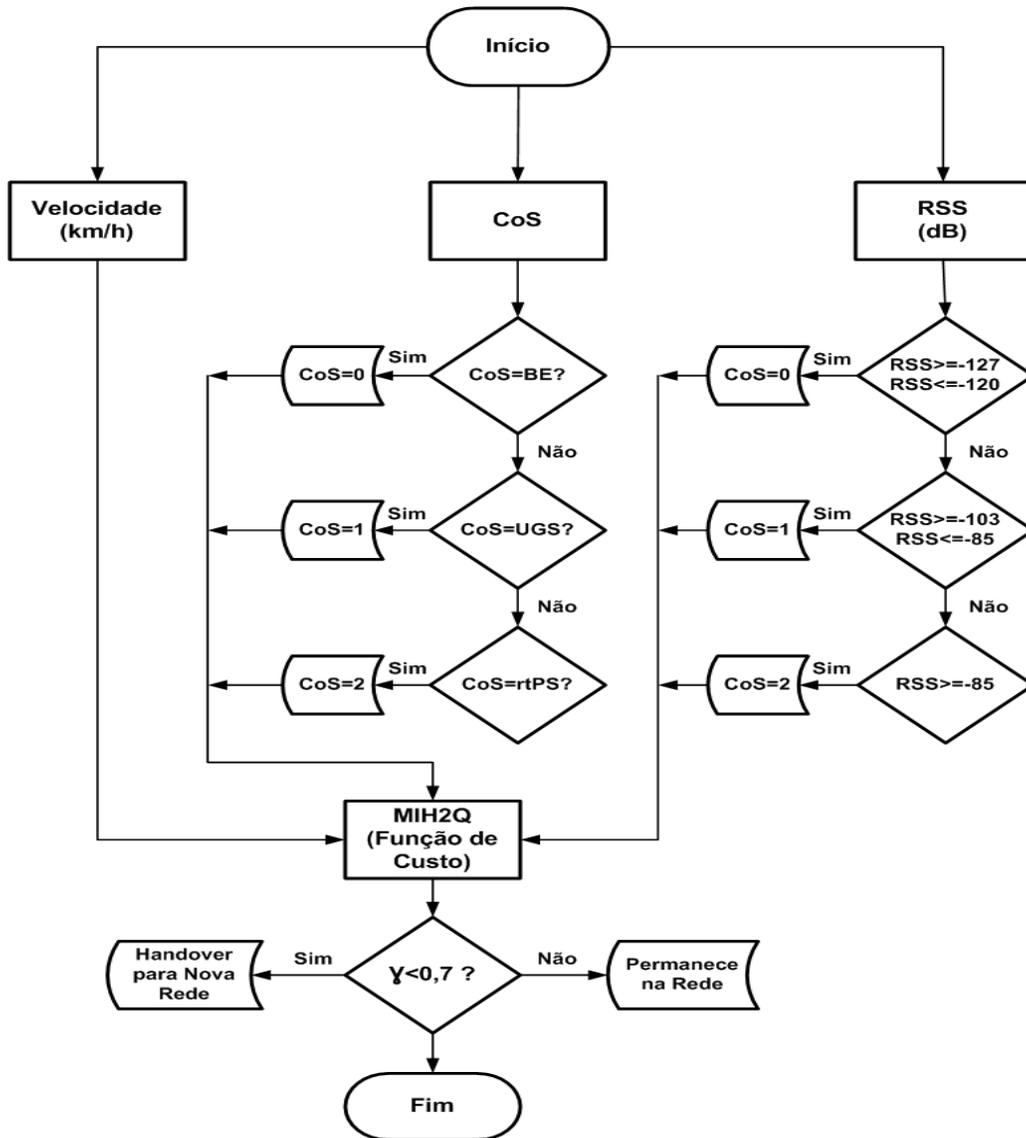


Figura 10 - Fluxograma usado para a decisão de mobilidade com o MIH2Q.

As redes NGN integram serviços de banda larga, isto é, serviço de dados, comunicações multimídia de tempo real, etc., e serviços GPRS (*General Radio Packet Service*), que correspondem aos serviços de texto, chamadas em espera, etc. Consequentemente, existe uma necessidade de vazão e conectividade constante desses serviços.

A Figura 11 descreve a arquitetura do MIH2Q para uma rede de próxima geração, baseada no *All-IP*, exemplificando algumas possibilidades para que os clientes móveis possam se locomover, isto é, horizontalmente ou verticalmente, entre as diferentes tecnologias, através de equipamentos móveis com múltiplas interfaces e com GPS integrado ao MIH, que funciona em conjunto com a função de custo (1).

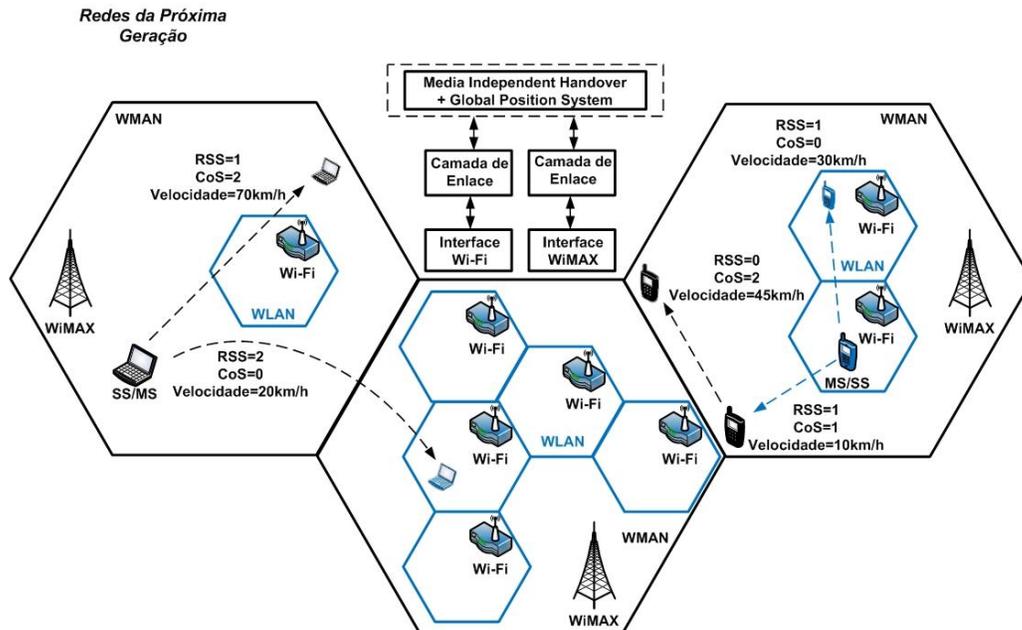


Figura 11 - Arquitetura do MIH2Q em Redes Heterogêneas da Próxima Geração.

O cenário apresentado pela Figura 11 é coberto por diversas redes sem fio. Conseqüentemente, os clientes necessitam de processos que engatilhem a escolha da melhor rede, dentre as existentes. Logo, em virtude do cenário apresentado, foi desenvolvida a proposta MIH2Q, juntamente com o *framework* MIH e as métricas de QoS/QoE, para a escolha da melhor rede a ser utilizada pelo dispositivo móvel e execução do serviço, de acordo com a necessidade de aplicação do usuário móvel, de maneira transparente.

4.4 RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a proposta da função de custo hierárquica, destacando a fórmula, o fluxograma e o ambiente. Também foram apresentados os principais conceitos, arquitetura e serviços do *framework* MIH, necessários para o desenvolvimento da política MIH2Q, implementada nesta dissertação.

5. VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta a validação e a avaliação da política MIH2Q desenvolvida, analisado o gerenciamento de mobilidade em conjunto com as métricas de QoS/QoE. Com base em três cenários e três vídeos com alta, média e baixa complexidade e movimentação, resultados foram obtidos e serão apresentados a seguir.

5.1 PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Foram desenvolvidos três cenários, com parâmetros de topologia (Tabela 1) direcionados às redes sem fio de próxima geração, executados no *software* NS-2. A MIH2Q possui três parâmetros, sendo a velocidade, os pesos relacionados à intensidade do sinal e as classes de serviços (rtPS, UGS e BE). Destaca-se que, através dos parâmetros da política desenvolvida, a função de custo é calculada e, de acordo com o valor obtido pela função, decide-se o processo de mobilidade em uma rede heterogênea WiMAX, com área de cobertura de 1 km, e Wi-Fi, com cobertura de 100 m, ambas com vazão de 5 Mbps. É importante destacar que, cada experimento foi validado em uma sequência de vinte simulações para se obter um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 1- Parâmetros de simulação de topologia.

Rede	Parâmetros da simulação	Valor
Cabeada	Capacidade do Enlace	100 Mbps
	Atraso do Enlace	40 ms
	Tamanho da Buffer	50
	Tipo de Fila	DropTail
WiMAX	Raio de Cobertura	1 Km
	Frequência	3,5GHz
	Padrão	IEEE 802.16e
	Modulação	OFDM
	Escalonador	Round Robin
	Taxa de Transmissão	75 Mbps
Wi-Fi	Raio de Cobertura	100 m
	Frequência	2,4GHz
	Padrão	IEEE 802.11e
	Taxa de Transmissão	54 Mbps
	Número de repetições	20 vezes
	Tempo de cada Simulação	75 s

A qualidade dos vídeos foi aferida utilizando o *software* Evalvid [Evalvid 2011] para gerir a transmissão e análise do vídeo, considerando a perspectiva do usuário. O processo de decisão de mobilidade foi implementado de acordo com o tipo de serviço/qualidade da aplicação, parâmetros de mobilidade e disponibilidade das classes de serviços nas redes/pontos de acesso candidatos. As simulações foram realizadas nos cenários com comportamentos distintos, onde cada um possuía três clientes móveis recebendo aplicações com diferentes requisitos de qualidade.

Este trabalho considera as principais métricas de QoE objetiva (PSNR, SSIM, VQM) e subjetiva (MOS) para realizar o processo de avaliação do comportamento da transmissão de vídeo, de acordo com a necessidade do usuário. No PSNR, o vídeo é avaliado comparando a qualidade do vídeo original ao vídeo recebido pelo cliente, considerando o aspecto de luminosidade, sendo a sua unidade em decibel. A Tabela 2 demonstra o mapeamento do PSNR (em decibéis) em MOS.

Tabela 2 - Mapeamento de PSNR para MOS.

PSNR (dB)	Qualidade
> 37	Excelente
31 – 37	Bom
25 – 31	Aceitável
20 – 25	Ruim
< 20	Péssimo

No SSIM, o comportamento do vídeo, é baseado na medição quadro a quadro, comparando ao vídeo original e analisando os itens de contraste, luminosidade e estrutura, gerando um valor decimal entre 0 e 1 e quanto mais próximo do valor 1, melhor qualidade o vídeo apresentará. No VQM, o intervalo é similar e os aspectos analisados são ruído, distorção dos frames, cor e resolução do vídeo, porém, contrário ao SSIM, quanto mais próximo o valor se aproximar a 0, melhor será a qualidade. Na Tabela 3, os parâmetros de simulação dos vídeos são evidenciados.

Tabela 3 - Parâmetros de simulação dos vídeos

Parâmetro de Simulação dos Vídeos	Valor
Resolução	352 x 288
Taxa de Frame	30 Frame/seg
Modo de Cores	Y, U, V
Tamanho do Pacote	1052
Fragmentação Max. do Pacote	1024

5.2 CENÁRIO 1

O primeiro experimento, cujo Cenário é evidenciado na Figura 12, possui clientes com os serviços de vídeo, CBR e FTP que se encontram na rede WiMAX. Porém, os clientes já estão inseridos na área de cobertura da rede Wi-Fi, que é mais restrita.

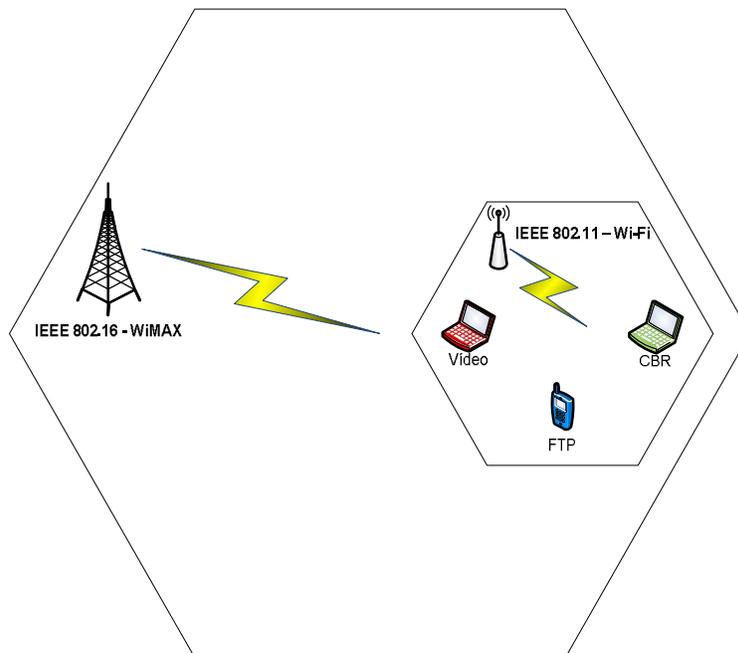


Figura 12 – Cenário 1.

Os clientes competem pela largura de banda da rede WiMAX prejudicando uns aos outros, devido à falta de gerência em relação à mobilidade e à ausência de controle

de banda para cada tipo de aplicação, o que resulta na degradação da qualidade das transmissões dos serviços. A Figura 13 contém a oscilação provocada pela competição da largura de banda (vazão em função do tempo) entre os clientes. Devido à ausência do controle de mobilidade é que existe tal oscilação, pois os mesmos procuram acessar seus serviços disponíveis na rede WiMAX, resultando no conflito.

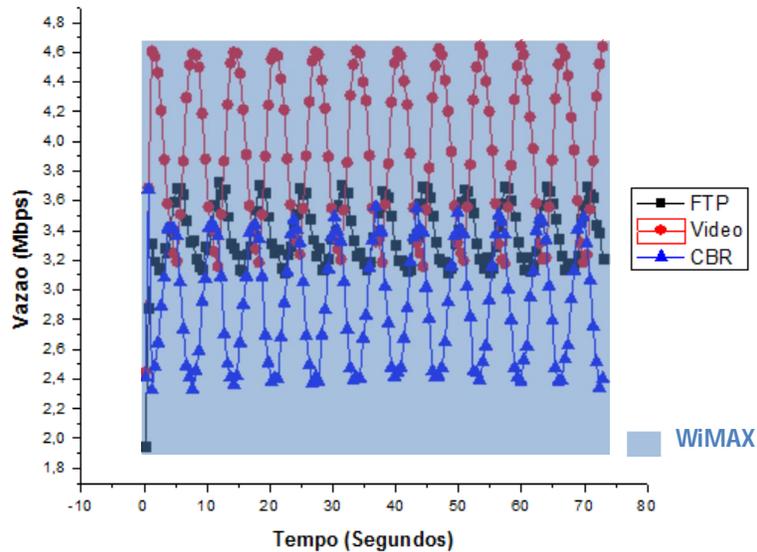


Figura 13 - Oscilação provocada pela competição da largura de banda entre os clientes.

A Figura 14 contém o resultado de cada média das vazões com o intervalo de confiança para serviços utilizados no cenário da Figura 12 (sem a política de gerenciamento de mobilidade).

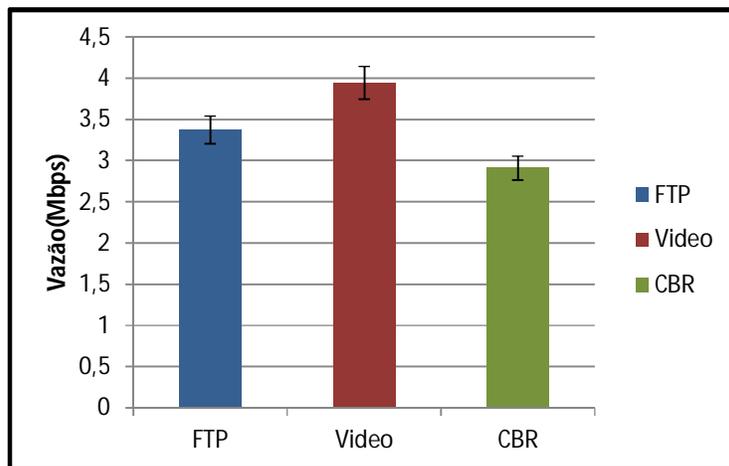


Figura 14 – Média da vazão com intervalo de confiança no Cenário 1.

5.3 CENÁRIO 2

A Figura 15 apresenta o Cenário do segundo experimento, que possui clientes localizados, inicialmente, na rede WiMAX. Para o cenário, foram mapeadas as aplicações para as classes de serviço (CoS) da WiMAX, onde a aplicação de vídeo foi associada à classe rtPS; a aplicação CBR foi associada à classe UGS e a aplicação FTP, à classe BE. Destaca-se que os clientes que utilizam o serviço BE e rtPS realizam a mobilidade para uma rede Wi-Fi de menor capacidade.

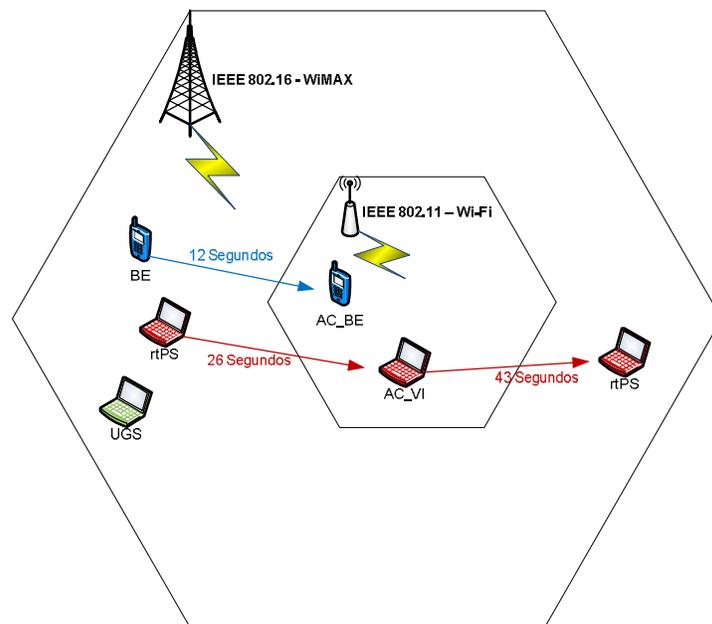


Figura 15 - Cenário 2.

O Cenário da Figura 15 é refletido na Figura 16, que apresenta os resultados de vazão para as CoS das redes. Analisando o gráfico, aproximadamente no instante de 12 segundos, o cliente que utiliza a CoS do BE migra para a rede Wi-Fi, obtendo, assim, temporariamente, um ganho de vazão, devido à falta de concorrência.

Aos 25 segundos, o cliente rtPS migra para rede Wi-Fi, que é limitada. Neste instante de tempo, inicia-se a competição pela vazão entre os clientes da rede, que é reduzida, prejudicando suas aplicações. Conseqüentemente, o cliente rtPS tem seu vídeo prejudicado, assim como o cliente da aplicação BE, que apresenta vazão inferior quando comparada à competição anterior, dos três clientes, na rede WiMAX, justificada devido à Wi-Fi ter menor capacidade de transmissão. Aos 43 segundos, o cliente rtPS retorna à

rede WiMAX com vazão suficiente, o que proporciona uma melhor qualidade na transmissão do vídeo, deixando de concorrer com o BE, que retorna para uma vazão anterior ao ingresso do rtPS, na rede Wi-Fi (Figura 16).

É fundamental destacar que, na situação evidenciada pelo cenário 2, comprova-se a importância das CoS, priorizando as aplicações em tempo real, requerendo, assim, mais largura de banda. No entanto, somente as CoS não impedem que o cliente realize a mobilidade de maneira desnecessária.

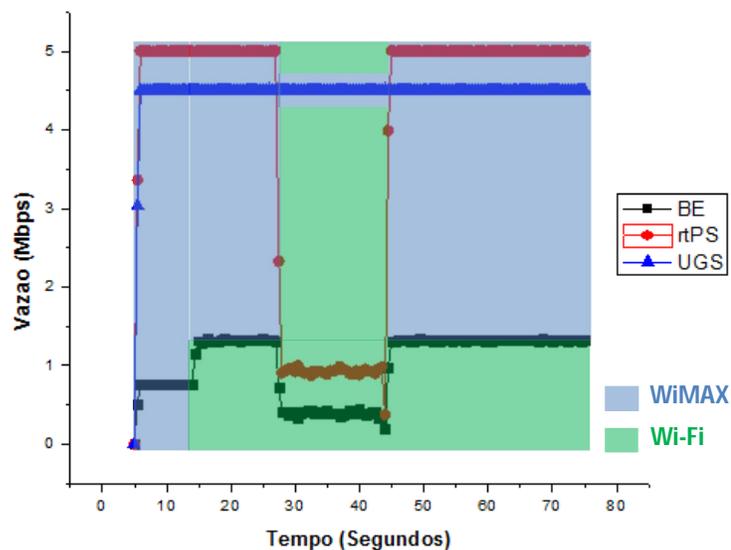


Figura 16 - Resultado de vazão para as CoS no Cenário 2.

A Figura 17 contém o resultado de cada média das vazões com o intervalo de confiança para serviços utilizados no cenário da Figura 15 (com política de gerenciamento de mobilidade).

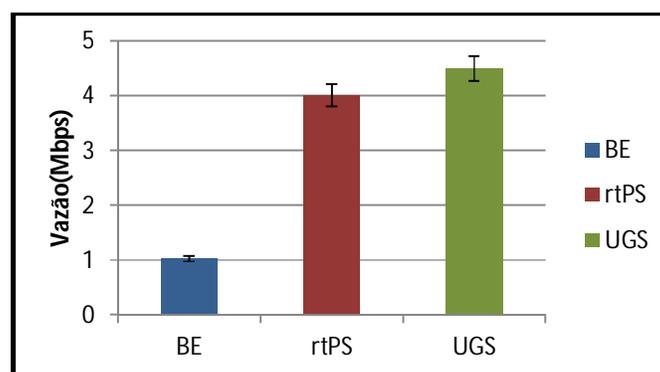


Figura 17 - Média da vazão com intervalo de confiança no cenário 2

5.4 CENÁRIO 3

Diferentemente dos casos já apresentados, o terceiro experimento utiliza a política MIH2Q desenvolvida. A Figura 18 destaca clientes que recebem aplicações mapeadas em BE, rtPS e UGS, inicialmente, localizados na rede WiMAX.

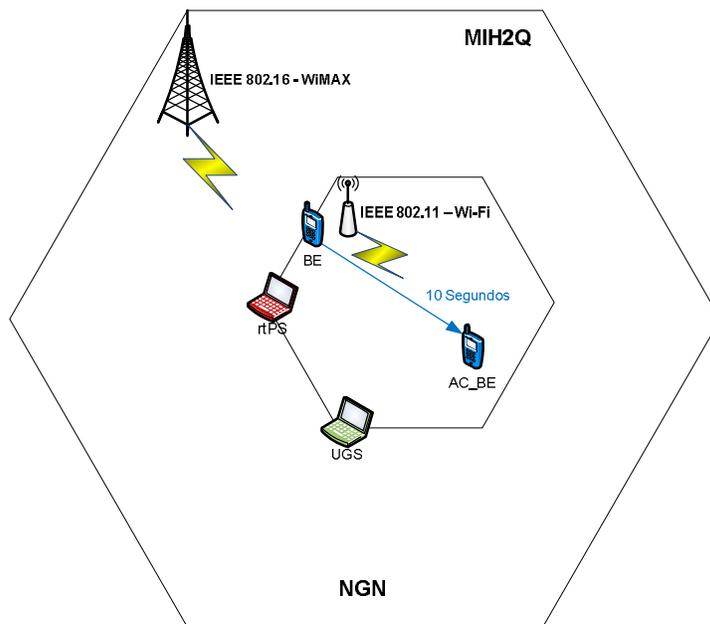


Figura 18 - Cenário 3.

Após as simulações, a solução MIH2Q gerencia os clientes com maior prioridade (rtPS e UGS), direcionando-os a continuarem na rede WiMAX, mantendo, assim, a qualidade de suas aplicações. E decide que o cliente BE realize a mobilidade para a rede Wi-Fi, com menor capacidade de transmissão, mas capaz de suprir a necessidade do mesmo, uma vez que não apresenta a concorrência de outras aplicações para degradar o seu serviço.

O Cenário da Figura 18 é refletido na Figura 19, que apresenta os resultados de vazão para as CoS das redes, utilizando a política MIH2Q. Analisando o gráfico, aproximadamente no instante de 10 segundos, o cliente que utiliza a CoS do BE migra para a rede Wi-Fi, obtendo um ganho de vazão, devido à falta de concorrência. Frisa-se que a vazão se manterá constante enquanto durar a permanência do cliente na rede.

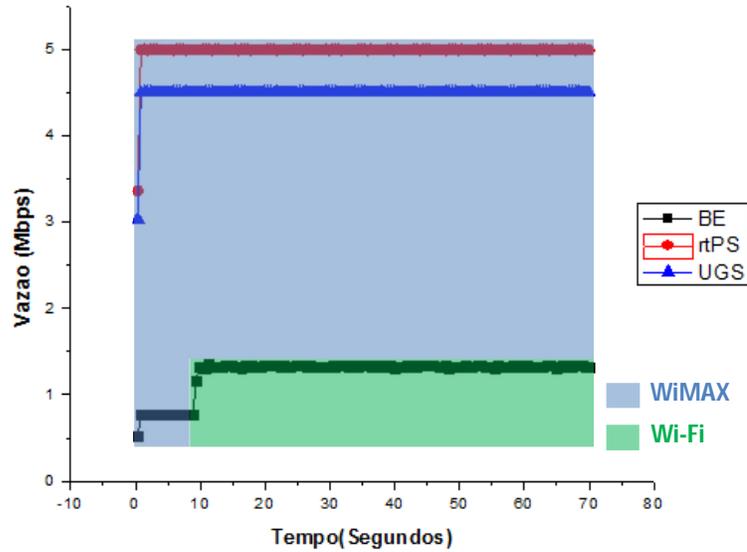


Figura 19 - Resultado de Vazão para as CoS no Cenário 3.

Conforme o valor de vazão apresentado pela Figura 19, afirma-se que a função hierárquica de gerenciamento de mobilidade é eficiente e eficaz, haja vista que os clientes são orientados para a escolha da melhor rede, de acordo com as aplicações, para usufruir a melhor capacidade oferecida pelas tecnologias para os usuários móveis, em um dado momento.

A Figura 20 apresenta o resultado de cada média das vazões com o intervalo de confiança para serviços utilizados no cenário da Figura 18 (com política MIH2Q).

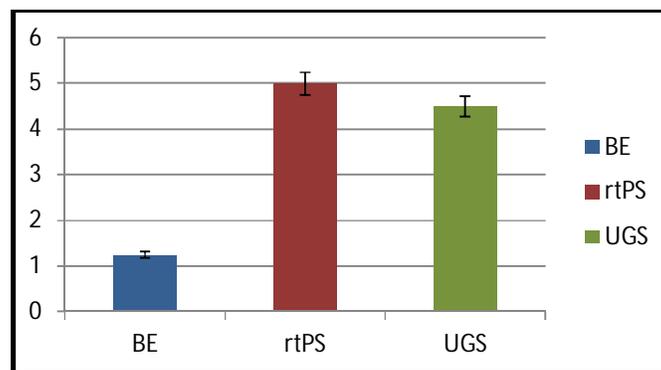


Figura 20 - Média da vazão com intervalo de confiança no cenário 3

5.5 RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE QoE NOS CENÁRIOS 1 E 3

Após as simulações dos Cenários 1 e 3, calcula-se a média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo de cada parâmetro PSNR, SSIM e VQM de QoE. Tais parâmetros são avaliados, além do frame que é retirado para visualização dos vídeos. O resultado é obtido sem e com a utilização da política MIH2Q. Destaca-se que a avaliação foi executada em três vídeos diferentes, de alta, média e baixa complexidade e movimentação.

5.5.1 VÍDEO 1: ALTA COMPLEXIDADE E MOVIMENTAÇÃO VÍDEO “COAST”

A arquitetura MIH2Q proporciona melhorias na QoE para os clientes móveis com transmissões de vídeo. Serão consideradas as seguintes métricas: PSNR, SSIM e VQM referentes ao vídeo de alta complexidade e movimentação “Coast”, nos cenários sem e com a política proposta.

O vídeo “Coast” é transmitido nos cenários 1 e 3, com métricas PSNR, SSIM e VQM. Após o cálculo das métricas pelo *software* Evalvid, chega-se aos gráficos das Figuras 21, 22 e 23.

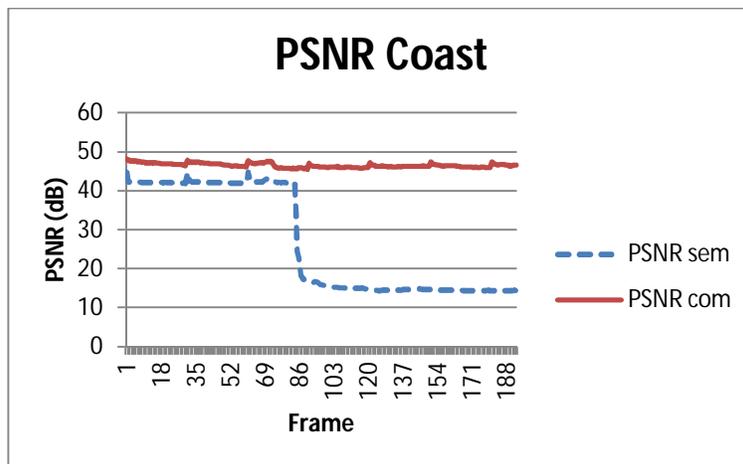


Figura 21 - Resultado do PSNR do vídeo “Coast” para QoE com MIH2Q e sem.

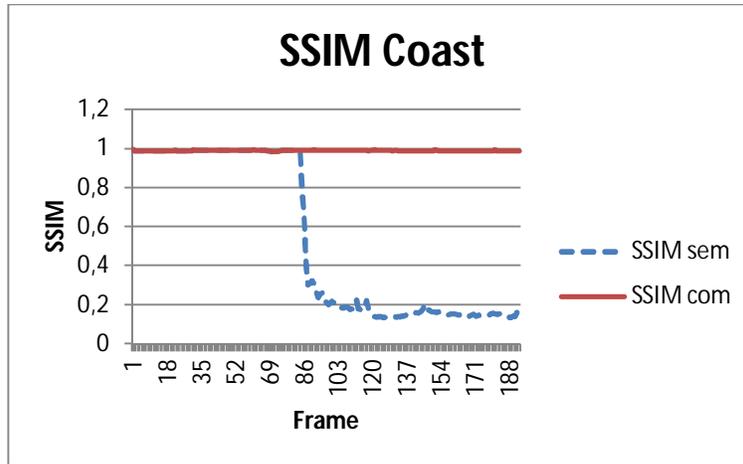


Figura 22 - Resultado do SSIM do vídeo "Coast" para QoE com MIH2Q e sem.

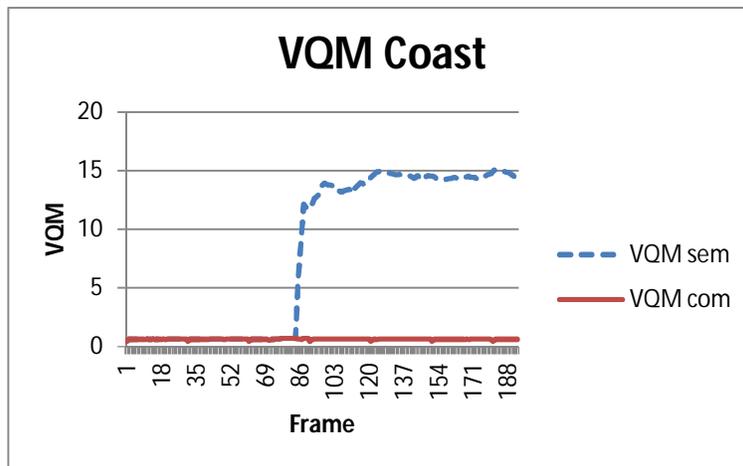


Figura 23 - Resultado do VQM do vídeo "Coast" para QoE com MIH2Q e sem.

A Tabela 4 apresenta as médias das respectivas métricas PSNR, SSIM e VQM para o vídeo "Coast". Nela, é possível observar ganho nos resultados quando a política MIH2Q é utilizada, validando, assim, sua eficiência.

Tabela 4 - Valores das métricas do vídeo "Coast" sem e com a MIH2Q.

	PSNR		SSIM		VQM	
	----	MIH2Q	----	MIH2Q	----	MIH2Q
Média	17,38	46,46	0,532	0,988	8,19	0,63
Desvio Padrão	13,57	0,46	0,407	0,002	6,72	0,04
Máximo	44,73	48,1	0,994	0,994	15,11	0,72
Mínimo	14,33	45,42	0,132	0,983	0,46	0,44

Para melhor evidenciar a utilização da política desenvolvida nesta dissertação, foi utilizado um vídeo e, no frame 300 do mesmo, retirou-se uma imagem. Na Figura 24, que não possui a aplicação da política MIH2Q, observa-se a degradação da qualidade do vídeo do cliente que utiliza o serviço rtPS. Ao contrário, na Figura 25, que utiliza a MIH2Q, a qualidade do vídeo mostra-se mais significativa.



Figura 24 - Vídeo "Coast" sem a política MIH2Q.



Figura 25 - Vídeo "Coast" com a política MIH2Q.

5.5.2 VÍDEO 2: MÉDIA COMPLEXIDADE E MOVIMENTAÇÃO VÍDEO “CAR”

O vídeo “Car” também é transmitido nos cenários 1 e 3, com métricas PSNR, SSIM e VQM. Após o cálculo das métricas pelo *software* Evalvid, chega-se aos gráficos das Figuras 26, 27 e 28.

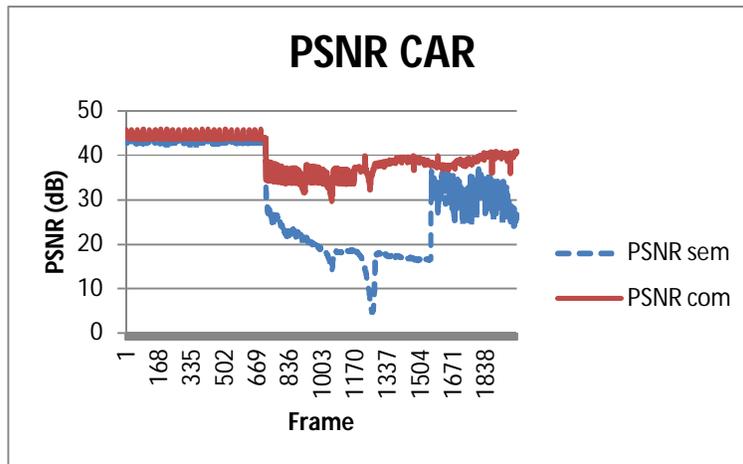


Figura 26 - Resultado do PSNR do vídeo “Car” para QoE com MIH2Q e sem.

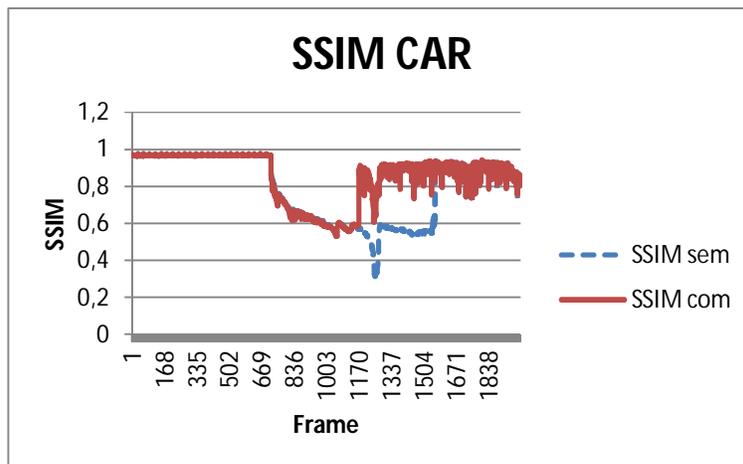


Figura 27 - Resultado do SSIM do vídeo “Car” para QoE com MIH2Q e sem.

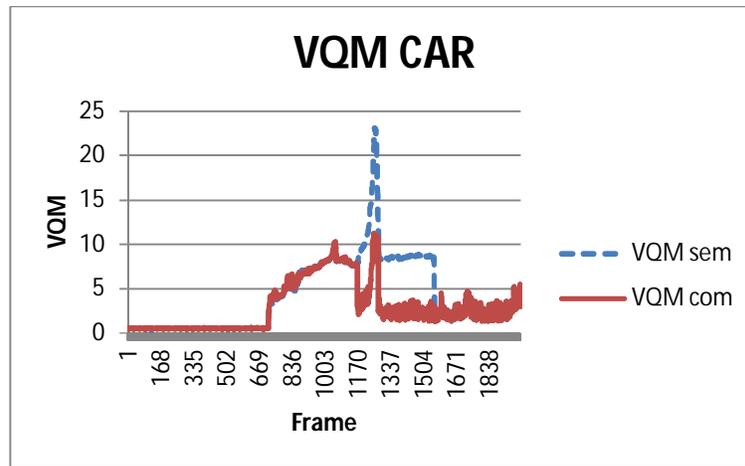


Figura 28 - Resultado do VQM do vídeo “Car” para QoE com MIH2Q e sem.

A Tabela 5 apresenta as médias das respectivas métricas PSNR, SSIM e VQM para o vídeo “Car”. Nela, também, é possível observar o ganho nos resultados com a utilização da política MIH2Q.

Tabela 5 - Valores das métricas do vídeo “Car” sem e com a MIH2Q.

	PSNR		SSIM		VQM	
	----	MIH2Q	----	MIH2Q	----	MIH2Q
Média	19,95	38,24	0,79	0,86	4,17	2,88
Desvio Padrão	11,07	3,66	0,18	0,14	4,02	2,69
Máximo	44,62	45,87	0,98	0,98	23,14	11,28
Mínimo	4,72	29,71	0,3	0,53	0,41	0,41

Para comprovar a eficiência da política MIH2Q, utilizou-se um segundo vídeo e, no frame 300 do mesmo, retirou-se uma imagem. Na Figura 29, que não possui a aplicação da política MIH2Q, observa-se, novamente, a degradação da qualidade do mesmo, já na Figura 25, que utiliza a MIH2Q, a qualidade do vídeo é superior.



Figura 29 - Vídeo "Car" sem a política MIH2Q.



Figura 30 - Vídeo "Car" com a política MIH2Q.

De acordo com os resultados do vídeo 2, destacados pelas Figuras 29 e 30, observa-se uma similaridade em relação aos resultados do vídeo 1, pois os *traces* de ambos os vídeos possuem a mesma vazão, e o uso da política MIH2Q mostra-se, novamente, eficiente.

5.5.3 VÍDEO 3: BAIXA COMPLEXIDADE E MOVIMENTAÇÃO VÍDEO "BRIDGE"

O vídeo "Bridge", novamente, é transmitido nos cenários 1 e 3, também com métricas PSNR, SSIM e VQM. Após o cálculo de suas métricas, chega-se aos gráficos das Figuras 31, 32 e 33.

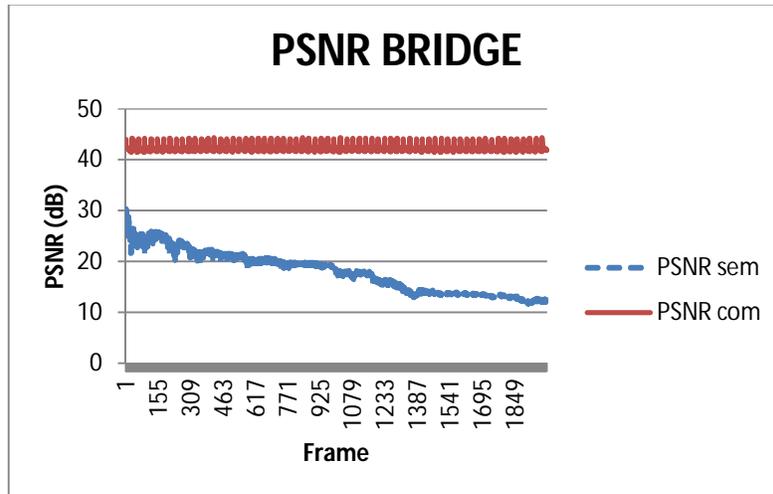


Figura 31 - Resultado do PSNR do vídeo "Bridge" para QoE com MIH2Q e sem.

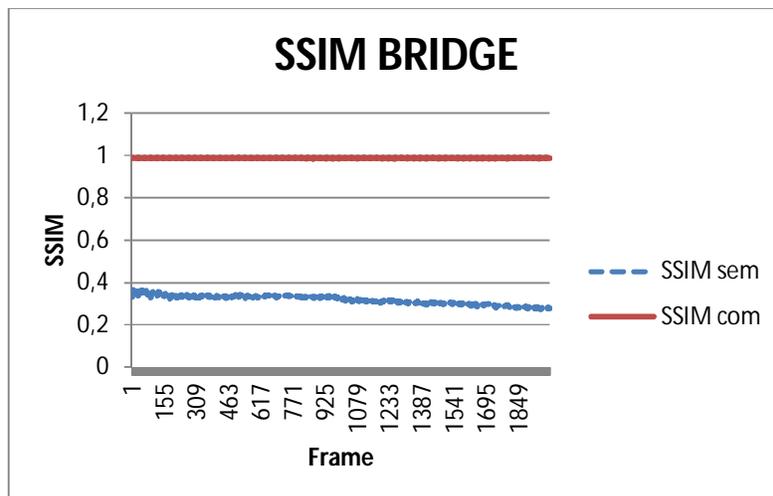


Figura 32 - Resultado do SSIM do vídeo "Bridge" para QoE com MIH2Q e sem.

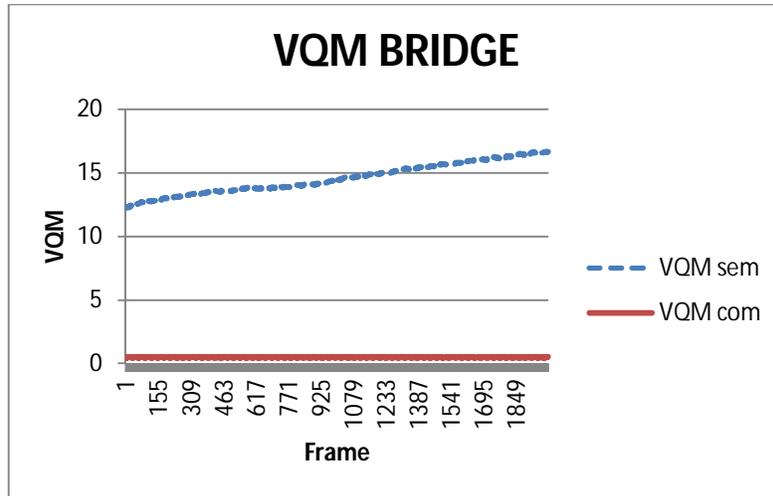


Figura 33 - Resultado do VQM do vídeo "Bridge" para QoE com MIH2Q e sem.

A Tabela 6 apresenta as médias das métricas PSNR, SSIM e VQM para o vídeo "Bridge", onde, novamente, é possível observar o ganho nos resultados com a utilização da MIH2Q.

Tabela 6 - Valores das métricas do vídeo "Bridge" sem e com a MIH2Q.

	PSNR		SSIM		VQM	
	----	MIH2Q	----	MIH2Q	----	MIH2Q
Média	16,32	42,16	0,319	0,982	14,57	0,51
Desvio Padrão	4,06	0,46	0,021	0,001	1,2	0,03
Máximo	30,39	44,38	0,37	0,992	16,68	0,55
Mínimo	11,73	41,51	0,274	0,984	12,27	0,37

Para comprovar, mais uma vez, a eficiência da política MIH2Q, utilizou-se um terceiro vídeo e, no frame 300 do mesmo, a imagem foi retirada. A Figura 34 não possui a aplicação da política MIH2Q, consequentemente, há também a degradação da qualidade da mesma, o que não ocorre na Figura 35, que utiliza a política MIH2Q, resultando em uma maior qualidade do vídeo.

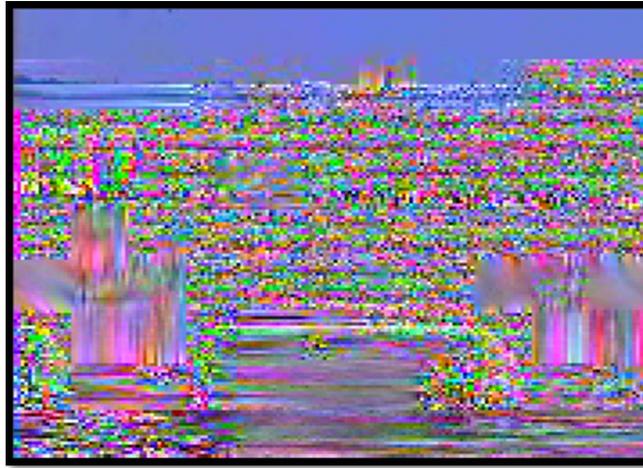


Figura 34 - Vídeo "Bridge" sem a política MIH2Q.

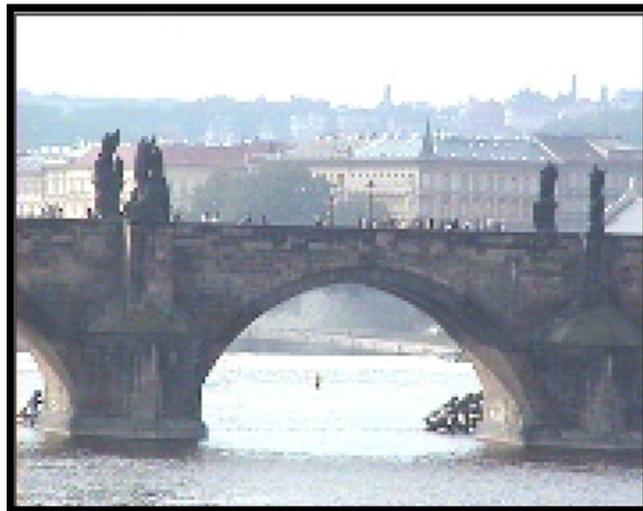


Figura 35 - Vídeo "Bridge" com a política MIH2Q.

De acordo com os resultados do vídeo 3, destacados pelas Figuras 34 e 35, observa-se uma diferença em relação aos resultados dos vídeos 1 e 2, pois o *trace* do vídeo 3 possui vazão de simulação diferente dos outros vídeos, porém, o resultado ainda é similar, quando a política MIH2Q é aplicada, haja vista que a qualidade do resultado final, incluindo o uso da política, é melhor em relação à sua ausência.

É importante destacar que a mobilidade dos usuários também causa impactos consideráveis na qualidade dos vídeos. Quando observamos os vídeos transmitidos sem o suporte da arquitetura, percebemos que, durante o período de mobilidade, existe quebra de conexão e, justamente nessa falha de conexão, os frames são perdidos. A cada

deslocamento dos usuários móveis, os impactos são diferentes, pois, durante as quebras de conexões, apresentamos situações em que frames de baixa importância foram perdidos, mas também tivemos situações em que frames de alta importância foram perdidos durante as quebras de conexões.

A mobilidade pode causar grandes ou pequenos danos às aplicações, isso depende do que estava sendo transmitido quando houve as quebras de conexões devido à mobilidade, por isso que a arquitetura MIH2Q fornece mecanismo que provê mobilidade transparente, permitindo o mínimo de dano e o máximo de ganho, conforme foi demonstrado nos resultados.

Cada vídeo, também, tem as suas propriedades, incluímos vídeos com alta complexidade e movimentação, como, também, com baixa complexidade e movimentação. As perdas de frames em vídeos de baixa complexidade e movimentação permitem, ainda que, o usuário tenha uma interpretação correta do vídeo quando a conexão é reestabelecida, porém, em vídeos com alta complexidade e movimentação, sua percepção é prejudicada quando a conexão é reestabelecida, pois os frames perdidos continham informações importantes para a interpretação correta do vídeo.

Podemos observar que, no vídeo “Bridge”, mesmo que a qualidade tenha sido forçadamente bastante degradada, o entendimento do vídeo não foi prejudicado no mesmo nível, justamente por ter baixa complexidade e movimentação, pelo fato de ser um vídeo que exhibe praticamente apenas uma paisagem. Diferentemente da análise dos vídeos “Cost” e “Car”, as perdas já se tornam muito mais consideráveis, pois, durante a falha de conexão, os frames perdidos continham movimentos de ação (como a lancha atravessando rio e o carro em movimento na estrada) prejudicando claramente a percepção e o entendimento do usuário em relação ao vídeo.

5.6 RESUMO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a validação e a avaliação da política MIH2Q para a gerência de mobilidade com QoS/QoE em redes heterogêneas WiMAX e Wi-Fi, por meio de três cenários distintos. Além disso, também foram utilizados três vídeos, com complexidade e movimentação diferentes, mostrando resultados distintos através da análise dos seus parâmetros, devido a cada vídeo apresentar sua respectiva taxa de *bitrate*, definida através da compressão dos vídeos, necessária para transmissão na rede.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresenta uma proposta de política de gerenciamento hierárquico para a mobilidade de usuários em redes heterogêneas com suporte a QoS/QoE como foco em comunicação oportunista (sempre melhor conectado). O mecanismo implementado, intitulado MIH2Q, executa o mapeamento entre classes de serviço e possui uma função de custo para permitir a mobilidade dos usuários entre redes homogêneas e heterogêneas, como forma de garantir sempre a melhor vazão, menor perda e maior QoE para os mesmos.

Para a realização dos testes e validação da proposta, foram desenvolvidos três cenários para redes IEEE 802.11 e IEEE 802.16 e implementados no NS-2 e Evalvid. Através da política de mobilidade proposta, é possível calcular a função de custo e, de acordo com o valor obtido pela função, decide-se o processo de mobilidade para uma rede WiMAX, com cobertura de 1 km, ou Wi-Fi, com cobertura de 100 m.

Os resultados da simulação corroboraram a eficiência da solução proposta pelo MIH2Q, pois os resultados da classe de serviço BE obtiveram ganho de vazão de aproximadamente 72,4%. As aplicações de rtPS e UGS mantêm vazão máxima e qualidade quanto a QoS e QoE, promovendo um melhor desempenho dos clientes móveis, viabilizando um serviço com maior qualidade aos mesmos.

Também nota-se que, com a arquitetura proposta, além de uma melhoria quanto a QoS, há uma melhora nas medidas de rede dos dados, na qualidade do vídeo percebido pelo usuário, através das métricas objetivas e subjetivas de QoE, disponibilizando uma arquitetura única, que provê a melhor conectividade, conexão e disponibilidade dos recursos aos clientes móveis sem fio, em redes heterogêneas.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se:

1) interagir com um número maior de métricas, visando atender à possibilidade de perda do sinal, devido a interferências eletromagnéticas, ruídos, atenuações, dispersões e a fatores atmosféricos, como fontes de calor ou chuvas;

2) utilizar o balanceamento de cargas, visando atender problemas com propagação de sinal, distância e em outras medidas preponderantes para o processo de decisão da melhor rede;

3) usar um número maior de clientes com mobilidade, mirando uma saturação dos enlaces e aumentando a concorrência no processo de escolha do serviço;

4) oferecer aos clientes a flexibilidade para utilizar as classes de serviço correspondentes nas redes WiMAX e Wi-Fi, alocando-os em CoSs correspondentes, de forma dinâmica.

6.2 PUBLICAÇÕES

Gerenciamento de Handover Transparente com Suporte Integrado a QoS/QoE em Redes Heterogêneas, “X Workshop sobre Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (CSBC 2011 – X WPerformance), Natal, Julho 2011.

7. REFERÊNCIAS

- ANDI, W. C., Yeo, C. K., Lee, B. S. (2010). "Environment-Aware QoS framework for multi-interface terminal". *Computer Communications*, 33 (2010), 1049-1055.
- ANDREADIS, Alessandro. RIZZUTO, Sandro. ZAMBON, Riccardo. (2011) "A New NS2 Tool to Investigate QoS Management over Mobile WiMAX". *SIMU Tools 2011*. Fevereiro.
- BELGHITH, A. e Nuaymi, L. (2009) "Design and Implementation of a QoS- included WiMAX Module for NS-2 Simulator". Disponível em: <http://perso.telecom-bretagne.eu/aymenbelghith/tools/>. Acessado em: Janeiro de 2011.
- BOULHOSA, R.; Carvalho, T.; Ferreira, J.; Dias, K.; Cerqueira, E. (2011). "Gerenciamento de Handover Transparente com Suporte Integrado a QoS/QoE em Redes Heterogêneas". Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. In: X Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação, Natal, 2011. v. X. p. 108-122
- BULHMAN, José; CABIANCA, Antônio. (2010) *Redes lan/man wireless i: padrões 802.11 a, b e g.*, 2006. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman1/default.asp>. Acessado em outubro de 2011.
- CERQUEIRA, E. Veloso, L. Curado, M. Monteiro, E. Mendes, P. (2008). "Quality Level Control for Multi-user Sessions in Future Generation Networks". *Global Communications Conference, 2008. IEEE Globecom 2008*.
- CHELLAPPAN, B. Moh, T. Moh, M. (2009) "On Supporting Multiple Quality-of-Services Classes in Mobile WiMAX Handoff". *International Conference on Computing, Engineering and Information*
- CISCO (2011) "The Internet Protocol Journal, Volume 12, No.2 IEEE 802.21" Disponível em http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_12-2/122_ieee.html. Acessado em: setembro de 2011
- EVALVID (2011). Disponível em: <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>. Acessado em: setembro. 2011.

- GU, C. Song, M. Zhang, Y. Man, Y. Hou, C. (2009). “GPS Information assisted handoff mechanism in heterogeneous wireless networks”. Communications Technology and Applications, 2009.ICCTA '09. IEEE International Conference on.
- HE, Q. (2010). “A Fuzzy Logic Based Vertical Handoff Decision Algorithm between WWAN and WLAN”. International Conference on Networking and Digital Society
- HIERTZ, Guido R. DENTENEER, Dee. ZANG, Yunpeng. STILBOR, Lothar. COSTA, Xavier Pérez. WALKE, Bernhard. (2010) “The IEEE 802.11 Universe”. IEEE Communications Magazine. Janeiro.
- <http://www.wi-fi.org/organization.php>. Acessado em outubro de 2011.
- IEEE 802.16e (2006). IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems amendment 2. IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor 1-2005, pages 1–822.
- IEEE 802.16e, (2005) Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, Dec.
- IEEE P802.21 WG (2009). “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Part 21: Media Independent Mobilidade Services”. IEEE Std. 802.21-2008.
- IEEE Std 802.21-(2008), IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 21: Media Independent Handover Services, IEEE, January 2009;
- JINGXUAN, W. Mingjun, T. Tong, Z. Wei, Y. (2009).“A GPS-Free Wireless Mesh Networks Localization Approach”. Communications and Mobile Computing, 2009.CMC '09.WRI Internacional Conference on.
- KIOSKEA (2011). Introdução ao Wi-Fi (802.11 ou WiFi) Disponível em: <http://pt.kioskea.net/contents/wifi/wifiintro.php3> Acessado em outubro de 2011
- KUNARAK, S. e Suleesathira, R. (2010).“Predictive RSS with Fuzzy Logic based Vertical Handoff Algorithm in Heterogeneous Wireless Networks”. International Conference on Advanced Technologies for Communications.
- LAZAUSKAIT, V. (2009) “Developments of Next Generation Networks (NGN): country case studies” International Telecommunication Union (ITU), Geneva 2009.

- LEE, S., Sriram, F., Kim, K.; Kim, Y., e Golmie, N. (2009) “Vertical Handoff Decision Algorithms for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks”. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 58, NO. 2.
- MAHAJAN, A. Soans, S. (2010). “Next Generation Mobile Network Concepts Technology and Sample Applications”. Wireless Communications and Sensor Computing. ICWCSC, 2010, Internacional Conference On.
- MESCHKE, R. Krohn, M. Daher, R. Gladisch, A. Tavangarian, D. (2010) “Novel Handoff Concepts for Roadside Networks using Mechanisms of IEEE 802.11k & IEEE 802.11v”
- NETWORK Simulator.(2011). “The Network Simulator version two – NS 2”.Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em: Janeiro de 2011.
- PANAOUSIS, E. Frangoudis, P. Ververidis, C. Polyzos, G. (2008) “Optimizing the Channel Load Reporting Process in IEEE 802.11k-enabled WLANs”. Proceedings of the 2008 16th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks.
- PREGO, Thiago. (2007)” Aperfeiçoamento do Codificador de Voz CELP” Universidade Federal do Rio de Janeiro, Agosto de 2007. Disponível em <http://www02.lps.ufrj.br/~sergioln/theses/bsc16thiagoprego.pdf> Acessado em dezembro de 2011
- PUTRA, D. Ke, K. Wu, H. (2009) “Self-Similar Traffic Assessment on QoS Service Classes of WiMAX Network”
- RODRIGUES, D. Cerqueira, E. Monteiro, E. (2011). “Quality of Experience Adaptation Controllers for Voice and Video in Wireless Networks”. WWIC 2011: 350-361.
- SCHUMACHER, J, Dobler M, Dillon E, Power G, Fiedler M, Erman D, De Vogeeler K, Ramos MO, Argente JR (2010) “Providing an User Centric Always Best Connection” Proceedings of the 2010 2nd International Conference on Evolving Internet.
- UOL (2011). ANÁLISE: Dispositivos móveis prometem disputa de gigantes em 2012. Disponível em <http://economia.uol.com.br/ultimas-noticias/valor/2011/12/29/analise-dispositivos-moveis-prometem-disputa-de-gigantes-em-2012.jhtm>. Acessado em dezembro de 2011.

- VASCONCELOS, M. Linhares.(2010) “Redes de Próxima Geração NGN – Next Generation Networks”, Escola Superior Aberta do Brasil – ESAB, Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Rede de Computadores. 2010.
- WANG Z., Lu L., Bovik A.C. (2004). Video quality assessment based on structural distortion measurement, *Signal Processing: Image Communication*, vol. 19, no. 2.
- WI-FI Alliance (2011). Wi-fi alliance. Site oficial da organização. Disponível em:
- WiMAX Forum (2011). “WiMAX Forum Web Site”. Disponível em: <http://www.wimaxforum.org/home>. Acessado em: setembro de 2011.
- WINKLER S. (2005). Perceptual video quality metrics – a review, in *Digital Video Image Quality and Perceptual Coding*, eds. H. R. Wu, K. R. Rao, cha 5, CRC Press.
- XIAO F. (2000). DCT-based Video Quality Evaluation MSU Video Quality Metric, DOI=http://compression.ru/video/quality_measure/vqm.pdf
- XIE, S. e Wu, M. (2008).“Vertical Handdof Decision Algorithm to Minimize the Network Cost”.

ANEXOS

```

# MIHS Network Simulation with WiMAX, WiFi, and Video Traffic (Evalvid)

# Global Parameters

#check input parameters

set max_fragmented_size 1024

#add udp header(8 bytes) and IP header (20bytes)

set packetSize 1052

global ns

#set debug attributes

Agent/ND set debug_1

Agent/MIH set debug_1

Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6 set debug_1

Mac/802_16 set debug_1

Mac/802_11 set debug_1

Mac/802_16 set dcd_interval_ 5 ;#max 10s

Mac/802_16 set ucd_interval_ 5 ;#max 10s

set default_modulation OFDM_16QAM_3_4 ;#OFDM_BPSK_1_2

set contention_size 5 ;#for initial ranging and bw

Mac/802_16 set t21_timeout_ 0.02 ;#max 10s, to replace the timer for looking at
preamble

Mac/802_16 set client_timeout_ 50

#random used in movement of MN

set seed 6

set move [new RandomVariable/Uniform]

$move set min_ 2

$move set max_ 12

for {set j 0} {$j < $seed} {incr j} {

```

```
    set departure [$move value]
}

set f0 [open ugs.tr w]
set f1 [open rtps.tr w]
set f2 [open be.tr w]

#defines function for flushing and closing files
proc finish {} {
    global ns f f0 f1 f2 namtrace
    $ns flush-trace
    close $f
    close $f0
    close $f1
    close $f2
    close $namtrace
    puts " Simulation ended."
    exit 0
}

proc record {} {
    global sink0 sink1 sink2 f0 f1 f2
    #Get an instance of the simulator
    set ns [Simulator instance]
    #Set the time after which the procedure should be called again
    set time 0.5
    #How many bytes have been received by the traffic sinks?
    set bw0 [$sink0 set bytes_]
        set bw1 [$sink1 set bytes_]
        set bw2 [$sink2 set bytes_]
    #Get the current time
    set now [$ns now]
```

```

#Calculate the bandwidth (in MBit/s) and write it to the files
puts $f0 "$now [expr $bw0/$time*8/1000000]"
    puts $f1 "$now [expr $bw1/$time*8/1000000]"
    puts $f2 "$now [expr $bw2/$time*8/1000000]"
#Reset the bytes_ values on the traffic sinks
$sink0 set bytes_ 0
    $sink1 set bytes_ 0
    $sink2 set bytes_ 0
#Re-schedule the procedure
    $ns at [expr $now+$time] "record"
}
#$defaultRNG seed [lindex $argv 0]
Mac/802_11 set pr_limit_ 1.1 ;#1.0 for link down only
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/HandoverCF set shutdown_on_ack_ 0
# set global variables
set output_dir .
set traffic_start 5
set traffic_stop 70
set simulation_stop 70
#create the simulator
set ns [new Simulator]
#$ns use-newtrace
#open file for trace
set f [open old-video.tr w]
$ns trace-all $f
$ns node-config -addressType hierarchical
#$ns node-config -MPLS ON
AddrParams set domain_num_ 18 ;# domain number

```

```

AddrParams set cluster_num_ {1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1}      ;# cluster
number for each domain

AddrParams set nodes_num_ {1 1 1 1 1 1 1 1 1 5 5 1 1 1 1 1 1 1}      ;# number of
nodes for each cluster

set router0 [$ns node 0.0.0]; $router0 set X_ 500.0; $router0 set Y_ 500.0; $router0
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router0

puts "router0: tcl=$router0; id=[$router0 id]; addr=[$router0 node-addr]"

set router1 [$ns node 1.0.0]; $router1 set X_ 550.0; $router1 set Y_ 500.0; $router1
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router1

puts "router1: tcl=$router1; id=[$router1 id]; addr=[$router1 node-addr]"

set router2 [$ns node 2.0.0]; $router2 set X_ 650.0; $router2 set Y_ 500.0; $router2
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router2

puts "router2: tcl=$router2; id=[$router2 id]; addr=[$router2 node-addr]"

set router3 [$ns node 3.0.0]; $router3 set X_ 700.0; $router3 set Y_ 500.0; $router3
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router3

puts "router3: tcl=$router3; id=[$router3 id]; addr=[$router3 node-addr]"

set router4 [$ns node 4.0.0]; $router4 set X_ 550.0; $router4 set Y_ 500.0; $router4
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router4

puts "router4: tcl=$router4; id=[$router4 id]; addr=[$router4 node-addr]"

set router5 [$ns node 5.0.0]; $router5 set X_ 650.0; $router5 set Y_ 500.0; $router5
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router5

puts "router5: tcl=$router5; id=[$router5 id]; addr=[$router5 node-addr]"

set router6 [$ns node 6.0.0]; $router6 set X_ 500.0; $router6 set Y_ 400.0; $router6
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router6

puts "router6: tcl=$router6; id=[$router6 id]; addr=[$router6 node-addr]"

```

```

set router7 [$ns node 7.0.0] ; $router7 set X_ 600.0; $router7 set Y_ 400.0; $router7
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router7

puts "router7: tcl=$router7; id=[$router7 id]; addr=[$router7 node-addr]"

set router8 [$ns node 8.0.0] ; $router8 set X_ 700.0; $router8 set Y_ 400.0; $router8
set Z_ 0.0 ;

#$ns add-to-mpls-list $router8

puts "router8: tcl=$router8; id=[$router8 id]; addr=[$router8 node-addr]"

# connect links

$ns duplex-link $router0 $router1 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router1 $router2 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router2 $router3 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router1 $router4 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router2 $router5 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router4 $router6 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router4 $router7 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $router5 $router8 13Mb 40ms DropTail 1000

# creation of the MultiFaceNodes. It MUST be done before the 802.11
$ns node-config -multif ON ;#to create MultiFaceNode

set multiFaceNode [$ns node 14.0.0] ;# node id is 6

puts "multiFaceNode: tcl=$multiFaceNode; id=[$multiFaceNode id];
addr=[$multiFaceNode node-addr]"

set multiFaceNode1 [$ns node 15.0.0] ;# node id is 6

puts "multiFaceNode1: tcl=$multiFaceNode1; id=[$multiFaceNode1 id];
addr=[$multiFaceNode1 node-addr]"

set multiFaceNode2 [$ns node 16.0.0] ;# node id is 6

puts "multiFaceNode2: tcl=$multiFaceNode2; id=[$multiFaceNode2 id];
addr=[$multiFaceNode2 node-addr]"

$ns node-config -multif OFF

# Now we add 802.11 nodes

# parameter for wireless nodes

```

```

set opt(chan)      Channel/WirelessChannel    ;# channel type for 802.11
set opt(prop)      Propagation/TwoRayGround  ;# radio-propagation model 802.11
set opt(netif)     Phy/WirelessPhy          ;# network interface type 802.11
set opt(mac)       Mac/802_11               ;# MAC type 802.11
set opt(ifq)       Queue/DropTail/PriQueue  ;# interface queue type 802.11
set opt(ll)        LL                       ;# link layer type 802.11
set opt(ant)       Antenna/OmniAntenna     ;# antenna model 802.11
set opt(ifqlen)    50                       ;# max packet in ifq 802.11
set opt(adhocRouting) DSDV                 ;# routing protocol 802.11
set opt(umtsRouting) ""                   ;# routing for UMTS (to reset node config)
set opt(x)         2000                     ;# X dimension of the topography
set opt(y)         2000                     ;# Y dimension of the topography
set namtrace [open mpls.nam w]
$ns namtrace-all-wireless $namtrace $opt(x) $opt(y)
# configure rate for 802.11
Mac/802_11 set basicRate_ 54Mb
Mac/802_11 set dataRate_ 54Mb
Mac/802_11 set bandwidth_ 54Mb
#create the topography
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
#puts "Topology created"
set chan [new $opt(chan)]
# create God
create-god 20                               ;# give the number of nodes
#configure for 20m radius 2.4Ghz
#Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
#Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
#Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 6.12277e-09

```

```

#Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]
##configure for 50m radius 2.4Ghz
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.0134
Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 5.25089e-10
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]
# configure Access Points
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
    -llType $opt(ll) \
    -macType $opt(mac) \
    -channel $chan \
    -ifqType $opt(ifq) \
    -ifqLen $opt(ifqlen) \
    -antType $opt(ant) \
    -propType $opt(prop) \
    -phyType $opt(netif) \
    -topoInstance $topo \
    -wiredRouting ON \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace OFF \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF
# configure Base station 802.11
set bstation802 [$ns node 10.0.0] ;
$bstation802 set X_ 550.0
$bstation802 set Y_ 350.0
$bstation802 set Z_ 0.0
#$ns add-to-mpls-list $bstation802

```

```

puts "bstation802: tcl=$bstation802; id=[$bstation802 id]; addr=[$bstation802 node-
addr]"

# we need to set the BSS for the base station
set bstationMac [$bstation802 getMac 0]
set AP_ADDR_0 [$bstationMac id]
puts "bss_id for bstation 1=$AP_ADDR_0"
$bstationMac bss_id $AP_ADDR_0
$bstationMac enable-beacon

set bstation802_1 [$ns node 11.0.0] ;
$bstation802_1 set X_ 620.0
$bstation802_1 set Y_ 350.0
$bstation802_1 set Z_ 0.0

#$ns add-to-mpls-list $bstation802_1

puts "bstation802_1: tcl=$bstation802_1; id=[$bstation802_1 id];
addr=[$bstation802_1 node-addr]"

# we need to set the BSS for the base station
set bstationMac_1 [$bstation802_1 getMac 0]
set AP_ADDR_1 [$bstationMac_1 id]
puts "bss_id for bstation 1=$AP_ADDR_1"
$bstationMac_1 bss_id $AP_ADDR_1
$bstationMac_1 enable-beacon

# creation of the wireless interface 802.11
$ns node-config -wiredRouting OFF \
    -macTrace ON

set iface1 [$ns node 10.0.1] ;# node id is 8.

$iface1 random-motion 0 ;# disable random motion

$iface1 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802 node-addr]] ;#attach mn to
basestation

$iface1 set X_ 450.0
$iface1 set Y_ 330.0

```

```

$iface1 set Z_ 0.0

# define node movement. We start from outside the coverage, cross it and leave.
#$ns at 5.0 "$iface1 setdest 750.0 330.0 10.0"
$ns at 35.0 "$iface1 setdest 550.1 330.0 10.0"
$ns at 60.0 "$iface1 setdest 450.1 330.0 10.0"

puts "iface1: tcl=$iface1; id=[$iface1 id]; addr=[$iface1 node-addr]"

set iface3 [$ns node 10.0.2]                ;# node id is 8.

$iface3 random-motion 0                      ;# disable random motion

$iface3 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802 node-addr]] ;#attach mn to
basestation

$iface3 set X_ 450.0
$iface3 set Y_ 320.0
$iface3 set Z_ 0.0

# define node movement. We start from outside the coverage, cross it and leave.
#$ns at 5.0 "$iface3 setdest 750.0 320.0 5.0"
$ns at 20.0 "$iface3 setdest 550.1 320.0 10.0"
$ns at 40.0 "$iface3 setdest 450.1 320.0 10.0"

puts "iface3: tcl=$iface3; id=[$iface3 id]; addr=[$iface3 node-addr]"

set iface5 [$ns node 10.0.3]                ;# node id is 8.

$iface5 random-motion 0                      ;# disable random motion

$iface5 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802 node-addr]] ;#attach mn to
basestation

$iface5 set X_ 470.0
$iface5 set Y_ 330.0
$iface5 set Z_ 0.0

# define node movement. We start from outside the coverage, cross it and leave.
#$ns at 10.0 "$iface5 setdest 700.0 320.0 2.0"
$ns at 10.0 "$iface5 setdest 570.1 330.0 10.0"
#$ns at 50.0 "$iface5 setdest 470.1 330.0 10.0"

```

```

puts "iface5: tcl=$iface5; id=[$iface5 id]; addr=[$iface5 node-addr]"
# add link to backbone
$ns duplex-link $bstation802 $router6 13Mb 40ms DropTail 1000
$ns duplex-link $bstation802_1 $router7 13Mb 25ms CBO
# add Wimax nodes
set opt(netif)    Phy/WirelessPhy/OFDM    ;# network interface type 802.16
set opt(mac)      Mac/802_16             ;# MAC type 802.16
# radius =
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 7.91016e-15 ;#500m:2.025e-12
#Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 1.26562e-13 ;#1000m radius
Phy/WirelessPhy set CStresh_ [expr 0.8*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]
# configure Access Points
$ns node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
    -llType $opt(ll) \
    -macType $opt(mac) \
    -channel $chan \
    -ifqType $opt(ifq) \
    -ifqLen $opt(ifqlen) \
    -antType $opt(ant) \
    -propType $opt(prop) \
    -phyType $opt(netif) \
    -topoInstance $topo \
    -wiredRouting ON \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF
# configure Base station 802.16

```

```

set bstation802_16 [$ns node 9.0.0] ;
$bstation802_16 set X_ 450
$bstation802_16 set Y_ 350
$bstation802_16 set Z_ 0.0
#$ns add-to-mpls-list $bstation802_16

puts "bstation802_16: tcl=$bstation802_16; id=[$bstation802_16 id];
addr=[$bstation802_16 node-addr]"

set clas [new SDUClassifier/Dest]

[$bstation802_16 set mac_(0)] add-classifier $clas

#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed [new $opt(sched)]
set bs_sched [new WimaxScheduler/BS]
$bs_sched set-default-modulation $default_modulation
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched
[$bstation802_16 set mac_(0)] set-channel 1

set bstation802_16_1 [$ns node 12.0.0] ;
$bstation802_16_1 set X_ 670
$bstation802_16_1 set Y_ 350
$bstation802_16_1 set Z_ 0.0
#$ns add-to-mpls-list $bstation802_16_1

puts "bstation802_16_1: tcl=$bstation802_16_1; id=[$bstation802_16_1 id];
addr=[$bstation802_16_1 node-addr]"

set clas_1 [new SDUClassifier/Dest]

[$bstation802_16_1 set mac_(0)] add-classifier $clas_1

#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed [new $opt(sched)]
set bs_sched_1 [new WimaxScheduler/BS]
$bs_sched_1 set-default-modulation $default_modulation
[$bstation802_16_1 set mac_(0)] set-scheduler $bs_sched_1
[$bstation802_16_1 set mac_(0)] set-channel 0

# creation of the wireless interface 802.16

```

```

#$ns node-config -MPLS OFF
$ns node-config -wiredRouting OFF \
    -macTrace ON
set iface2 [$ns node 9.0.1]                ;# node id is 8.
$iface2 random-motion 0                    ;# disable random motion
$iface2 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16 node-addr]] ;#attach mn
to basestation
$iface2 set X_ 450.0
$iface2 set Y_ 330.0
$iface2 set Z_ 0.0
set clas2 [new SDUClassifier/Dest]
[$iface2 set mac_(0)] add-classifier $clas2
#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed [new $opt(sched)]
set ss_sched [new WimaxScheduler/SS]
[$iface2 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched
[$iface2 set mac_(0)] set-channel 1
# define node movement. We start from outside the coverage, cross it and leave.
#$ns at 5.0 "$iface2 setdest 750.0 330.0 10.0"
$ns at 35.0 "$iface2 setdest 550.1 330.0 10.0"
$ns at 60.0 "$iface2 setdest 450.1 330.0 10.0"
puts "iface2: tcl=$iface2; id=[$iface2 id]; addr=[$iface2 node-addr]"
set iface4 [$ns node 9.0.2]                ;# node id is 8.
$iface4 random-motion 0                    ;# disable random motion
$iface4 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16 node-addr]] ;#attach mn
to basestation
$iface4 set X_ 450.0
$iface4 set Y_ 320.0
$iface4 set Z_ 0.0
set clas4 [new SDUClassifier/Dest]

```

```

[$iface4 set mac_(0)] add-classifier $clas4
#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed [new $opt(sched)]
set ss_sched4 [new WimaxScheduler/SS]
[$iface4 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched4
[$iface4 set mac_(0)] set-channel 1

# define node movement. We start from outside the coverage, cross it and leave.
#$ns at 5.0 "$iface4 setdest 750.0 320.0 5.0"
$ns at 20.0 "$iface4 setdest 550.1 320.0 10.0"
$ns at 40.0 "$iface4 setdest 450.1 320.0 10.0"
puts "iface4: tcl=$iface4; id=[$iface4 id]; addr=[$iface4 node-addr]"
set iface6 [$ns node 9.0.3] ;# node id is 8.
$iface6 random-motion 0 ;# disable random motion
$iface6 base-station [AddrParams addr2id [$bstation802_16 node-addr]] ;#attach mn
to basestation
$iface6 set X_ 470.0
$iface6 set Y_ 330.0
$iface6 set Z_ 0.0
set clas6 [new SDUClassifier/Dest]
[$iface6 set mac_(0)] add-classifier $clas6
#set the scheduler for the node. Must be changed to -shed [new $opt(sched)]
set ss_sched6 [new WimaxScheduler/SS]
[$iface6 set mac_(0)] set-scheduler $ss_sched6
[$iface6 set mac_(0)] set-channel 1

# define node movement. We start from outside the coverage, cross it and leave.
#$ns at 10.0 "$iface6 setdest 700.0 320.0 2.0"
$ns at 10.0 "$iface6 setdest 570.1 330.0 10.0"
#$ns at 50.0 "$iface6 setdest 470.1 330.0 10.0"
puts "iface6: tcl=$iface6; id=[$iface6 id]; addr=[$iface6 node-addr]"
$ns duplex-link $bstation802_16 $router6 13Mb 40ms DropTail 1000

```

```
$ns duplex-link $bstation802_16_1 $router8 13Mb 25ms CBO
$ns duplex-link-op $router0 $router1 orient right
$ns duplex-link-op $router1 $router2 orient right
$ns duplex-link-op $router2 $router3 orient right
$ns duplex-link-op $router1 $router4 orient down
$ns duplex-link-op $router2 $router5 orient down
$ns duplex-link-op $router4 $router6 orient left-down
$ns duplex-link-op $router4 $router7 orient right-down
$ns duplex-link-op $router5 $router8 orient right-down
$ns duplex-link-op $router6 $bstation802_16 orient left-down
$ns duplex-link-op $router6 $bstation802 orient right-down
$ns duplex-link-op $router7 $bstation802_1 orient down
$ns duplex-link-op $router8 $bstation802_16_1 orient down
# add interfaces to MultiFaceNode
$multiFaceNode add-interface-node $iface1
$multiFaceNode add-interface-node $iface2
$multiFaceNode1 add-interface-node $iface3
$multiFaceNode1 add-interface-node $iface4
$multiFaceNode2 add-interface-node $iface5
$multiFaceNode2 add-interface-node $iface6
# install ND modules
# now WLAN
set nd_bs [$bstation802 install-nd]
$nd_bs set-router TRUE
$nd_bs router-lifetime 1800
set nd_bs3 [$bstation802_1 install-nd]
$nd_bs3 set-router TRUE
$nd_bs3 router-lifetime 1800
set nd_bs5 [$bstation802_1 install-nd]
```

```
$nd_bs5 set-router TRUE
$nd_bs5 router-lifetime 1800
set nd_bs7 [$bstation802_1 install-nd]
$nd_bs7 set-router TRUE
$nd_bs7 router-lifetime 1800
set nd_mn [$iface1 install-nd]
set nd_mn3 [$iface3 install-nd]
set nd_mn5 [$iface5 install-nd]
# now WIMAX
set nd_bs2 [$bstation802_16 install-nd]
$nd_bs2 set-router TRUE
$nd_bs2 router-lifetime 20 ;#just enough to expire while we are connected to wlan.
set nd_bs4 [$bstation802_16_1 install-nd]
$nd_bs4 set-router TRUE
$nd_bs4 router-lifetime 20 ;#just enough to expire while we are connected to wlan.
set nd_bs6 [$bstation802_16_1 install-nd]
$nd_bs6 set-router TRUE
$nd_bs6 router-lifetime 20 ;#just enough to expire while we are connected to wlan.
set nd_bs8 [$bstation802_16_1 install-nd]
$nd_bs8 set-router TRUE
$nd_bs8 router-lifetime 20 ;#just enough to expire while we are connected to wlan.
set nd_mn2 [$iface2 install-nd]
set nd_mn4 [$iface4 install-nd]
set nd_mn6 [$iface6 install-nd]
# install interface manager into multi-interface node and CN
Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/HandoverCF set debug_ 1
set handover [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/HandoverCF]
$multiFaceNode install-ifmanager $handover
$nd_mn set-ifmanager $handover
```

```

$handover nd_mac $nd_mn [$iface1 set mac_(0)] ;#to know how to send RS
$nd_mn2 set-ifmanager $handover
$handover nd_mac $nd_mn2 [$iface2 set mac_(0)] ;#to know how to send RS
set handover1 [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/HandoverCF]
$multiFaceNode1 install-ifmanager $handover1
$nd_mn3 set-ifmanager $handover1
$handover1 nd_mac $nd_mn3 [$iface3 set mac_(0)] ;#to know how to send RS
$nd_mn4 set-ifmanager $handover1
$handover1 nd_mac $nd_mn4 [$iface4 set mac_(0)] ;#to know how to send RS
set HandoverCF [new Agent/MIHUser/IFMNGMT/MIPV6/Handover/HandoverCF]
$multiFaceNode2 install-ifmanager $HandoverCF
$nd_mn5 set-ifmanager $HandoverCF
$HandoverCF nd_mac $nd_mn5 [$iface5 set mac_(0)] ;#to know how to send RS
$nd_mn6 set-ifmanager $HandoverCF
$HandoverCF nd_mac $nd_mn6 [$iface6 set mac_(0)] ;#to know how to send RS
set ifmgmt_cn [$router0 install-default-ifmanager]
# install MIH in multi-interface node
set mih [$multiFaceNode install-mih]
set mih1 [$multiFaceNode1 install-mih]
set mih2 [$multiFaceNode2 install-mih]
$handover connect-mih $mih ;#create connection between MIH and iface
management
$handover1 connect-mih $mih1 ;#create connection between MIH and iface
management
$HandoverCF connect-mih $mih2 ;#create connection between MIH and iface
management
# install MIH on AP/BS
set mih_bs [$bstation802 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs

```

```

$mih_bs add-mac $tmp_bs
set mih_bs [$bstation802_1 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_1 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs
set mih_bs [$bstation802_16 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_16 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs
set mih_bs [$bstation802_16_1 install-mih]
set tmp_bs [$bstation802_16_1 set mac_(0)]
$tmp_bs mih $mih_bs
$mih_bs add-mac $tmp_bs
# Now we can register the MIH module with all the MACs
set tmp20 [$iface1 set mac_(0)] ;#in 802.11 one interface is created
$tmp20 mih $mih
$mih add-mac $tmp20 ;#inform the MIH about the local MAC
set tmp20 [$iface2 set mac_(0)] ;#in 802.16 one interface is created
$tmp20 mih $mih
$mih add-mac $tmp20 ;#inform the MIH about the local MAC
set tmp21 [$iface3 set mac_(0)] ;#in 802.11 one interface is created
$tmp21 mih $mih1
$mih1 add-mac $tmp21 ;#inform the MIH about the local MAC
set tmp21 [$iface4 set mac_(0)] ;#in 802.16 one interface is created
$tmp21 mih $mih1
$mih1 add-mac $tmp21 ;#inform the MIH about the local MAC
set tmp22 [$iface5 set mac_(0)] ;#in 802.11 one interface is created
$tmp22 mih $mih2
$mih2 add-mac $tmp22 ;#inform the MIH about the local MAC

```

```
set tmp22 [$iface6 set mac_(0)] ;#in 802.16 one interface is created
$tmp22 mih $mih2
$mih2 add-mac $tmp22      ;#inform the MIH about the local MAC
# set the starting time for Router Advertisements
$ns at 2 "$nd_bs start-ra"
$ns at 2 "$nd_bs2 start-ra"
$ns at 2 "$nd_bs3 start-ra"
$ns at 2 "$nd_bs5 start-ra"
$handover UGS
$handover set w1_ 0.25
$handover set w2_ 0.25
$handover set w3_ 0.25
$handover set w4_ 0.25
$handover set handover_threshold_ 0.8
$handover GOLD
$handover1 RTPS
$handover1 set w1_ 0.25
$handover1 set w2_ 0.25
$handover1 set w3_ 0.25
$handover1 set w4_ 0.25
$handover1 set handover_threshold_ 0.8
$handover1 EXECUTIVE
$HandoverCF BE
$HandoverCF set w1_ 0.25
$HandoverCF set w2_ 0.25
$HandoverCF set w3_ 0.25
$HandoverCF set w4_ 0.25
$HandoverCF set handover_threshold_ 0.8
$HandoverCF STANDARD
```

```

#####MPLS

#set the number of UGS connections

set nb_UGS 1

#### interval_ of the CBR traffic ####

set interval_ugs(1) 0.15

set interval_ugs(2) 0.2

set interval_ugs(3) 0.25

set interval_ugs(4) 0.27

set interval_ugs(5) 0.3

set interval_ugs(6) 0.04

set interval_ugs(7) 0.05

set interval_ugs(8) 0.1

set interval_ugs(9) 0.1

#### SNR of the UGS connections#####

set SNR_ugs(1) 9.5

set SNR_ugs(2) 12.5

set SNR_ugs(3) 16.5

set SNR_ugs(4) 20.5

set SNR_ugs(5) 22.5

set SNR_ugs(6) 12.5

set SNR_ugs(7) 12.5

set SNR_ugs(8) 12.5

set SNR_ugs(9) 12.5

#####

for {set j 1} {$j < [expr $nb_UGS + 1]} {incr j} {
#Create a UDP agent and attach it to wl_node$j
set udp_ugs($j) [new Agent/UDP]
$udp_ugs($j) set packetSize_ 1000
$ns attach-agent $router0 $udp_ugs($j)

```

```

# Create a CBR traffic source and attach it to udp4
set cbr_ugs($j) [new Application/Traffic/CBR]
    $cbr_ugs($j) set packetSize_ 200 ;#600x8/0.005=960k
    $cbr_ugs($j) set interval_ 0.005
    $cbr_ugs($j) set rate_ 4.5Mb
    $cbr_ugs($j) attach-agent $udp_ugs($j)

# Create the Null agent to sink traffic
set sink0 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $multiFaceNode $sink0

# Attach the 2 agents
$ns connect $udp_ugs($j) $sink0

$udp_ugs($j) set fid_ 2

#$ns bind-flowid-to-SBTS 2

## add-flow TrafficPriority MaximumSustainedTrafficRate
MinimumReservedTrafficRate ServiceFlowSchedulingType
##ServiceFlowSchedulingType: 0=>SERVICE_UGS, 1=>SERVICE_rtPS,
2=>SERVICE_nrtPS, 3=>SERVICE_BE

$ss_sched add-flow 3 [expr 30 + [$cbr_ugs($j) set packetSize_] * [Mac/802_16 set
frame_duration_] / [$cbr_ugs($j) set interval_] 0 1

##set-PeerNode-SNR PeerNode SNR

$ns at 1.5 "$bs_sched set-PeerNode-SNR [expr $j] $SNR_ugs($j)"

##set-PeerNode-UGSPeriodicity PeerNode Periodicity (periodicity of the reservation,
every k frames)

$ns at 1.5 "$bs_sched set-PeerNode-UGSPeriodicity [expr $j] 1"

$handover add-flow $sink0 $udp_ugs($j) $iface2 1

#Schedule start/stop of traffic

$ns at 5.0 "$cbr_ugs($j) start"

}

#####RTPSSSSSSSS

# rtPS connections

```

```
# The identity of the first rtPS connection is k, the second is k+1, and so on
set first_rtPS 101

#set the number of rtPS connections
set nb_rtPS 1

#set the number of symbols reserved for unicast request opportunities
$bs_sched set-SymbolNumberForUnicastRequest 3

set rtPS_scheduler_ "RR"

#bs_sched set-rtPSscheduling scheduling
$bs_sched set-rtPSscheduling $rtPS_scheduler_

# seed the default RNG
global defaultRNG
$defaultRNG seed 9999

#### interval_#####
set interval_rtPS(1) 0.01
set interval_rtPS(2) 0.04
set interval_rtPS(3) 0.05
set interval_rtPS(4) 0.02
set interval_rtPS(5) 0.05
set interval_rtPS(6) 0.04
set interval_rtPS(7) 0.03
set interval_rtPS(8) 0.02
set interval_rtPS(9) 0.03

#### SNR #####
set SNR_rtPS(1) 7.0
set SNR_rtPS(2) 7.5
set SNR_rtPS(3) 9.0
set SNR_rtPS(4) 12.0
set SNR_rtPS(5) 17.0
set SNR_rtPS(6) 17.5
```

```

set SNR_rtPS(7) 20.0
set SNR_rtPS(8) 24.0
set SNR_rtPS(9) 25.5
##### WRR #####
# set the weights if using WRR
if {$rtPS_scheduler_ == "WRR"} {
set WRR_rtPS(1) 1
set WRR_rtPS(2) 1
set WRR_rtPS(3) 1
set WRR_rtPS(4) 2
set WRR_rtPS(5) 2
set WRR_rtPS(6) 3
set WRR_rtPS(7) 3
set WRR_rtPS(8) 4
set WRR_rtPS(9) 4
}
#####
#set-TRParameters-SNR-Tr-Tp-L SNRth Tr Tp L
$bs_sched set-TRParameters-SNR-Tr-Tp-L 8.5 2 3 4
#####
$ns node-config -wiredRouting OFF \
    -macTrace ON ;# Mobile nodes cannot do routing.
for {set j $first_rtPS} {$j < [expr $first_rtPS + $nb_rtPS]} {incr j} {
#Create a UDP agent and attach it to wl_node$j
set udp_rtPS($j) [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $router0 $udp_rtPS($j)
#Traffic
#create video traffic
    set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]

```

```

$cbr0 set packetSize_ 200 ;#600x8/0.005=960k
$cbr0 set interval_ 0.005
$cbr0 attach-agent $udp_rtPS($j)
$cbr0 set rate_ 5Mb

# Create the Null agent to sink traffic
set sink1 [new Agent/LossMonitor]
$ns attach-agent $multiFaceNode1 $sink1

# Attach the 2 agents
$ns connect $udp_rtPS($j) $sink1
$udp_rtPS($j) set fid_ $j
$udp_rtPS($j) set fid_ 1
#$ns bind-flowid-to-SBTS 1

set interval_rtPS($j) $interval_rtPS([expr $j + 1 - $first_rtPS])
## exponential distribution
#set sizeRNG_rtPS($j) [new RNG]
#set size_rtPS($j) [new RandomVariable/Exponential]
#$size_rtPS($j) set avg_ 1000
#$size_rtPS($j) use-rng $sizeRNG_rtPS($j)

# uniform distribution
set sizeRNG_rtPS($j) [new RNG]
set size_rtPS($j) [new RandomVariable/Uniform]
$size_rtPS($j) set min_ 500
$size_rtPS($j) set max_ 1500
$size_rtPS($j) use-rng $sizeRNG_rtPS($j)

## add-flow TrafficPriority MaximumSustainedTrafficRate
MinimumReservedTrafficRate ServiceFlowSchedulingType

##ServiceFlowSchedulingType: 0=>SERVICE_UGS, 1=>SERVICE_rtPS,
2=>SERVICE_nrtPS, 3=>SERVICE_BE

$ss_sched4 add-flow 5 0 0 1

```

```

##set-PeerNode-SNR PeerNode SNR

$ns at 1.5 "$bs_sched set-PeerNode-SNR [expr $nb_UGS + $j + 1 - $first_rtPS]
$SNR_rtPS([expr $j + 1 - $first_rtPS])"

##set-PeerNode-UnicastRequestPeriodicity PeerNode Periodicity

$ns at 1.5 "$bs_sched set-PeerNode-UnicastRequestPeriodicity [expr $nb_UGS + $j + 1
- $first_rtPS] 2"

if {$rtPS_scheduler_ == "WRR"} {
    # set-PeerNode-WRRschedulingForrtPS PeerNode Weight

    $ns at 1.5 "$bs_sched set-PeerNode-WRRschedulingForrtPS [expr $nb_UGS + $j + 1 -
$first_rtPS] $WRR_rtPS([expr $j + 1 - $first_rtPS])"
}

$handover1 add-flow $sink1 $udp_rtPS($j) $iface4 1

#$ns at [expr 5.0 + [expr $j + 1 - $first_rtPS] * 0] "send_next_packet_VBR $udp_rtPS($j)
$size_rtPS($j) $interval_rtPS($j)"

$ns at 5.0 "$cbr0 start"
}

#####BEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE#####

#set first_BE 301

##set-PeerNode-SNR PeerNode SNR

$ns at 1.3 "$bs_sched set-PeerNode-SNR [expr $nb_UGS + $nb_rtPS + 1] 12.3"

##set-BwRequestSendingPeriod BwRequestSendingPeriod_

$ss_sched6 set-BwRequestSendingPeriod 10

## add-flow TrafficPriority MaximumSustainedTrafficRate
MinimumReservedTrafficRate ServiceFlowSchedulingType

##ServiceFlowSchedulingType: 0 => SERVICE_UGS, 1 => SERVICE_rtPS, 2 =>
SERVICE_nrtPS, 3 => SERVICE_BE

$ss_sched6 add-flow 1 0 0 1

    set udp2 [new Agent/UDP]

    #udp_($i) set packetSize_ 1000

    $udp2 set fid_ 3

    #ns bind-flowid-to-SBTS 3

```

```
#create video traffic
set cbr2 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr2 set packetSize_ 200 ;#600x8/0.005=960k
$cbr2 set interval_ 0.005
$cbr2 attach-agent $udp2
$cbr2 set rate_ 3Mb
set sink2 [new Agent/LossMonitor]
#sinkNode is transmitter
$ns attach-agent $router0 $udp2
$ns attach-agent $multiFaceNode2 $sink2
$HandoverCF add-flow $sink2 $udp2 $iface6 1
$ns at 5.0 "$cbr2 start"
#####BBBBBBBBBBEEEEEEEEEEEE#####
$ns at 5.0 "record"
$ns at 75.1 "finish"
$ns run
```